



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

***De mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor
personenvervoer***

Erald Lika

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply
chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Mario COOLS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2024
2025



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

De mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer

Erald Lika

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Mario COOLS

Woord vooraf

Met trots presenteer ik deze masterthesis, waarmee ik mijn opleiding Handelswetenschappen, met een specialisatie in Supply Chain Management, aan de Universiteit Hasselt afrond. In dit onderzoek heb ik me verdiept in de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer, een onderwerp dat steeds meer aandacht krijgt binnen de mobiliteitssector. De combinatie van een uitgebreide literatuurstudie en een empirische studie heeft mij in staat gesteld om zowel theoretische als praktijkgerichte inzichten te verzamelen.

Ik wil graag van deze gelegenheid gebruik maken om enkele personen te bedanken die een belangrijke bijdrage hebben geleverd aan dit werk. In het bijzonder gaat mijn dank uit naar mijn promotor, Prof. Dr. Mario Cools, voor zijn waardevolle begeleiding, kritische blik en aanmoediging doorheen het hele proces. Ook de respondenten die hun inzichten deelden tijdens de interviews wil ik oprecht bedanken. Hun bereidheid om hun kennis en ervaring te delen heeft een grote meerwaarde betekend voor mijn onderzoek.

Dankzij de steun en medewerking van al deze betrokkenen ben ik erin geslaagd deze masterthesis succesvol af te ronden.

Erald Lika

Lanaken, 4 juni 2025

Samenvatting

De opkomst van geautomatiseerde voertuigen (AV's) wordt wereldwijd gezien als een belangrijke stap richting de mobiliteit van de toekomst. Deze technologie maakt gebruik van artificiële intelligentie, geavanceerde sensoren en communicatiesystemen om rijtaken deels of volledig over te nemen van de bestuurder. Ondanks hun potentieel om het vervoerssysteem duurzamer, veiliger en efficiënter te maken, roepen AV's ook tal van vragen op. De centrale onderzoeksvraag van deze masterthesis luidt dan ook als volgt: "Wat zijn de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer?".

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden werd het onderzoek opgesplitst in twee delen. In de eerste fase werd een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd, waarbij de huidige wetenschappelijke inzichten werden samengebracht over de verschillende domeinen die een rol spelen in de ontwikkeling en implementatie van AV's. In het tweede deel werd een empirisch kwalitatief onderzoek gevoerd op basis van vier diepte-interviews met experts uit de academische wereld en de beleidspraktijk. Door inzichten van mensen met jarenlange ervaring in mobiliteit en technologie te combineren met theoretische kaders, ontstaat een genuanceerd beeld van hoe AV's zich in de toekomst kunnen ontwikkelen binnen het personenvervoer.

Uit het onderzoek blijkt dat geautomatiseerde voertuigen veelzijdige toepassingen kunnen hebben. In de literatuur en praktijk wordt vaak gewezen op gedeelde autonome voertuigen (SAV's) als meest realistische en wenselijke toepassing. Deze voertuigen kunnen onder andere worden ingezet in buitenwijken, voor last-mile oplossingen of in gebieden met beperkte toegang tot openbaar vervoer. Toch blijft het potentieel van volledig autonome voertuigen (niveau 5) binnen stedelijke contexten op korte termijn eerder beperkt. De complexiteit van stedelijke verkeersomgevingen, de aanwezigheid van zwakke weggebruikers en de onvoorspelbaarheid van menselijke interacties maken dit technisch en maatschappelijk uitdagend.

Wat de impact op de ruimtelijke organisatie betreft, kan de introductie van AV's op lange termijn het stedelijke landschap mee vormgeven. Wanneer voertuigen bijvoorbeeld geen parkeerruimte meer nodig hebben in het stadscentrum, kan die ruimte herwonnen worden voor andere functies zoals vergroening, verblijfsruimte of zachte mobiliteit. Tegelijkertijd brengen AV's ook nieuwe uitdagingen met zich mee: er is bijvoorbeeld een reëel risico dat mensen verder van het stadscentrum gaan wonen, wat leidt tot urban sprawl en extra vervoersvraag. Beleidsmakers zullen hier dus tijdig op moeten anticiperen met duidelijke ruimtelijke kaders.

Op vlak van duurzaamheid ligt het antwoord niet eenduidig. In het ideale scenario waar AV's gedeeld worden gebruikt en elektrisch aangedreven zijn, kan de ecologische voetafdruk van het vervoer verminderen. Minder voertuigen op de weg, een hogere bezettingsgraad en een efficiënter netwerk zouden kunnen leiden tot minder energieverbruik en minder uitstoot. Maar wanneer AV's vooral privébezit blijven of gebruikt worden als alternatief voor openbaar vervoer of actieve modi zoals

fietsen en wandelen, dreigt het tegenovergestelde effect. In dat scenario zou de totale vervoersvraag toenemen en dus ook de bijbehorende milieu-impact.

Ook de sociale en economische impact van AV's wordt door experts genuanceerd benaderd. Enerzijds kunnen ze nieuwe vormen van mobiliteit toegankelijk maken voor doelgroepen die vandaag beperkt zijn in hun verplaatsingen, zoals ouderen of personen met een beperking. Anderzijds is er bezorgdheid over ongelijkheid: wanneer enkel hogere inkomens toegang hebben tot deze technologie, ontstaat er een nieuwe digitale kloof. Bovendien kan de introductie van AV's leiden tot baanverlies in transportsectoren, al nuanceert men dat er momenteel net een tekort is aan bijvoorbeeld vrachtwagenchauffeurs. Op langere termijn zouden economische verschuivingen dus opgevangen kunnen worden door herstructurering en nieuwe dienstenmodellen.

Een van de grootste drempels voor de brede implementatie van AV's is echter het regelgevend kader. Wie is verantwoordelijk bij een ongeval? De bestuurder? De producent van het voertuig? Of de ontwikkelaar van de software? De huidige wetgeving is hier nog niet op afgestemd, wat remmend werkt voor producenten en overheden. Ook het gebrek aan internationale harmonisatie zorgt voor bijkomende vertraging. In Europa verschillen de nationale regels sterk, wat het voor bedrijven moeilijk maakt om grensoverschrijdende diensten aan te bieden.

Wat betreft veiligheid tonen de meeste experts zich gematigd optimistisch: in theorie kunnen AV's veiliger zijn dan menselijke bestuurders, aangezien ze geen fouten maken door vermoeidheid, alcohol of afleiding. Toch leeft er bij het brede publiek nog veel wantrouwen. Dat wantrouwen komt deels voort uit een gebrek aan controle, en deels uit mediaberichtgeving over incidenten. Elk ongeval met een AV wordt immers breed uitgesmeerd, wat het vertrouwen verder ondermijnt. Zeker tijdens de overgangsperiode, waarin klassieke voertuigen en AV's samen op de weg zijn, ontstaan er risico's door onvoorspelbaar gedrag van weggebruikers en verkeerde inschattingen van de technologie.

De maatschappelijke acceptatie blijkt sterk afhankelijk te zijn van leeftijd, opleidingsniveau, technologische affiniteit en het gebruiksdoel. Jongeren en hogeropgeleiden staan gemiddeld positiever tegenover de technologie. Testprojecten en goede communicatie kunnen hierbij een belangrijke rol spelen. Belangrijk is ook om het gevoel van veiligheid te versterken, bijvoorbeeld door transparante regelgeving, duidelijke verantwoordelijkheden en de mogelijkheid om terug te keren op beslissingen in geval van problemen.

Tot slot wordt er door de meeste respondenten een genuanceerde toekomstvisie geschetst. Op snelwegen zal de technologie wellicht sneller doorbreken, vooral voor gestandaardiseerde trajecten. Voor volledig autonome voertuigen in stedelijke contexten wordt eerder een trage, gefaseerde evolutie verwacht. Beleidsmakers doen er volgens de experts goed aan om verschillende scenario's klaar te hebben, flexibel beleid te voeren en vooral te leren van pilootprojecten in binnen- en buitenland.

Deze masterthesis toont aan dat geautomatiseerde voertuigen niet louter een technische innovatie zijn, maar een complexe maatschappelijke verschuiving met grote implicaties voor mobiliteit, ruimte,

beleid en duurzaamheid. De combinatie van literatuur en praktijkervaring uit interviews biedt een rijk en genuanceerd beeld dat beleidsmakers, bedrijven en onderzoekers kan helpen om onderbouwde keuzes te maken. Toch zijn er ook beperkingen aan het onderzoek. De empirische basis bestaat uit vier interviews, waardoor de resultaten niet generaliseerbaar zijn. Daarnaast evolueert de technologie snel, wat maakt dat sommige inzichten snel achterhaald kunnen zijn. Verdere grootschalige, ook kwantitatieve studies zijn aangewezen om deze eerste bevindingen te verdiepen en verbreden.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Samenvatting	2
Inhoudsopgave	5
Lijst van afkortingen	7
Lijst van figuren	8
1. Onderzoeksplan	9
1.1 Probleemstelling	9
1.2 Onderzoeksvraag	11
1.3 Methodologie	12
2. Literatuurstudie	15
2.1 Definitie en toepassingen van geautomatiseerde voertuigen	15
2.2: Impact van geautomatiseerde voertuigen op ruimtelijke organisatie en infrastructuur van steden.....	17
2.3 Mogelijke effecten van geautomatiseerde voertuigen op het milieu.....	25
2.4 Regelgevende uitdagingen bij de implementatie van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer.....	29
2.5 Casestudy: De impact van autonome voertuigen in de regio Stuttgart	33
3. Empirische studie.....	36
3.1 Selectie van respondenten.....	36
3.2 Introductie respondenten	36
3.3 Resultaten.....	38
4. Discussie	45
4.1 Vergelijking van empirische resultaten met literatuur	45
4.2 Synthese en integratie van literatuur en praktijk.....	46
4.3 Reflectie op mogelijkheden van geautomatiseerde voertuigen.....	47
4.4 Reflectie op uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen.....	47
4.5 Kritische beschouwing van het onderzoek	48
5. Conclusie	50
Referentielijst.....	51
Bijlagen.....	55
Bijlage A: Interviewleidraad	55

Bijlage B: Transcriptie interview Jingjun Li (Postdoctoraal Onderzoeker)	57
Bijlage C: Transcriptie interview Tim Asperges (Adviseur Mobiliteit Stad Leuven)	65
Bijlage D: Transcriptie interview Evy Rombaut (Onderzoeker en Professor VUB)	74
Bijlage E: Transcriptie interview Bert van Wee (Emeritus Hoogleraar Transportbeleid TU Delft). 81	

Lijst van afkortingen

Afkorting	Definitie
AMOD	Autonomous Mobility On Demand (autonome mobiliteit op aanvraag)
AV	Automated Vehicle (geautomatiseerd voertuig)
AVG	Algemene Verordening Gegevensbescherming
DAP	Dynamic Adaptive Policymaking
GHG	Greenhouse Gas (broeikasgas)
SAE	Society of Automotive Engineers
SAV	Shared Automated Vehicle (gedeelde geautomatiseerd voertuig)
SUMP	Sustainable Urban Mobility Planning

Lijst van figuren

Figuur 1: Visualisatie literatuurselectieproces aan de hand van een PRISMA-flowdiagram (Page et al., 2021)	13
Figuur 2: Zes niveaus van automatisering in voertuigen (Olayode et al., 2023, p. 1040)	15
Figuur 3: Herstructurering van wegen voor geautomatiseerde voertuigen (Stead & Vaddadi, 2019, p. 129)	19
Figuur 4: Aangepaste indeling van straat voor geautomatiseerde voertuigen (Stead & Vaddadi, 2019, p. 130)	20
Figuur 5: Conventionele parking versus parking voor geautomatiseerde voertuigen (Nourinejad et al., 2018, p. 111)	21
Figuur 6: Simulatiemodel voor gedeeld autonoom vervoer in Lissabon, met taxi- en minibusdiensten (Martinez & Viegas, 2017, p. 18)	22
Figuur 7: Levenscyclus van autonome voertuigen (Onat et al., 2023, p. 9)	28
Figuur 8: Modal shift voor basis- en toekomstscenario: gemiddelde over een week (Heilig et al., 2017, p. 18)	34

1. Onderzoeksplan

1.1 Probleemstelling

De opkomst van geautomatiseerde voertuigen (AV's) vormt een veelbelovende ontwikkeling binnen het personenvervoer en wordt mogelijk gemaakt door vooruitgang op het gebied van artificiële intelligentie, sensortechnologie en communicatiesystemen. Bedrijven als Waymo hebben al concrete stappen gezet richting de commercialisering van zelfrijdende auto's en hun taxi's navigeren al door het verkeer in steden zoals Los Angeles en Phoenix (Broverman, 2024).

Geautomatiseerde voertuigen zijn voertuigen die gebruikmaken van verschillende niveaus van automatisering om het rijden deels of volledig over te nemen van de bestuurder. Volgens de classificatie van de Society of Automotive Engineers (SAE) zijn er zes niveaus, variërend van geen automatisering (niveau 0) tot volledige automatisering (niveau 5), waarbij het voertuig in staat is om zonder menselijke tussenkomst te rijden (Beza & Zefreh, 2019).

Geautomatiseerde voertuigen zouden in de toekomst een alternatief kunnen vormen voor traditioneel personentransport en zelfs het huidige systeem drastisch kunnen veranderen, mits ze breed geaccepteerd worden. Deze ontwikkeling maakt gebruik van recente innovaties, waarbij AV's vooral afhankelijk zijn van geavanceerde technologie om menselijke beslissingen te vervangen door geautomatiseerde algoritmes. Hoewel de adoptie van AV's nog in een beginfase zit, verwachten analisten dat deze voertuigen het personenvervoer ingrijpend kunnen transformeren, met de mogelijkheid dat tegen 2050 een groot deel van de voertuigen autonoom zal zijn (Greenblatt & Shaheen, 2015).

Er is echter weinig consensus over hoe geautomatiseerde voertuigen de stedelijke ontwikkeling op lange termijn zullen beïnvloeden, en zelfs de richting van verandering voor bepaalde impactgebieden blijft onduidelijk. De meningen lopen uiteen over de mogelijke effecten van AV's op de stedelijke vorm, de kwaliteit van de leefomgeving en het gebruik van stedelijke ruimte (Stead & Vaddadi, 2019).

Uit onderzoek blijkt dat AV's zowel positieve als negatieve veranderingen met zich mee kunnen brengen in stedelijke toegankelijkheid, afhankelijk van hoe ze worden geïntegreerd. Het is waarschijnlijk dat AV's aanzienlijke invloed zullen hebben op urbanisatiepatronen en ruimtelijke ontwikkeling, en dat hun komst gevolgen zal hebben voor zowel het vervoer als de stedelijke infrastructuur (Stead & Vaddadi, 2019).

Bovendien is er nog onzekerheid over de impact van geautomatiseerde voertuigen op het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen. Uit huidig onderzoek blijkt dat automatisering in voertuigen mogelijkheden biedt om het energieverbruik en de uitstoot te verminderen door onder meer het verbeteren van de verkeersdoorstroming en het faciliteren van ecologisch rijden en 'platooning', waarbij voertuigen dicht op elkaar rijden om luchtweerstand te minimaliseren.

Daarnaast kunnen aanpassingen aan aandrijflijnen en voertuiggrootte verdere brandstofbesparingen opleveren (Beza & Zefreh, 2019).

Maar het uiteindelijke effect van AV's op energiegebruik en emissies is nog onzeker. Dit kan positief of negatief uitvallen, afhankelijk van verschillende factoren zoals toename in rijafstand door de lagere kosten en de vraag vanuit voorheen minder mobiele gebruikersgroepen zoals ouderen of mensen met fysieke of medische beperkingen (Beza & Zefreh, 2019).

Vervolgens speelt regelgeving een cruciale rol bij de ontwikkeling en adoptie van geautomatiseerde voertuigen. Hoewel geautomatiseerde voertuigen steeds meer worden getest en ontwikkeld, ontbreekt er momenteel een duidelijk wettelijk kader om deze technologie effectief te reguleren. Een van de belangrijkste juridische uitdagingen ligt bij de vraag wie verantwoordelijk gehouden moet worden voor schade veroorzaakt door deze voertuigen. Naarmate het aantal autonome voertuigen groeit, zal de rol van productaansprakelijkheid vermoedelijk belangrijker worden, aangezien fouten van de bestuurder minder waarschijnlijk worden.

Toch is het toepassen van de bestaande wetgeving op productaansprakelijkheid ingewikkeld. Zonder een effectief aansprakelijkheidskader kunnen andere wettelijke initiatieven met betrekking tot de technische en veiligheidsaspecten van zelfrijdende auto's hun doel missen (De Bruyne & Werbrouck, 2018).

Daarnaast kent de huidige Europese Productaansprakelijkheidsrichtlijn enkele beperkingen die problematisch kunnen zijn voor autonome voertuigen. Bijvoorbeeld vanwege de strikte termijn van tien jaar waarbinnen een claim tegen de producent kan worden ingediend. Aangezien autonome voertuigen regelmatig software-updates ondergaan, kan dit tot juridische complicaties leiden over de vraag of een voertuig na een update als een nieuw product moet worden beschouwd (De Bruyne & Werbrouck, 2018).

Naast juridische vraagstukken is ook de maatschappelijke acceptatie van geautomatiseerde voertuigen een uitdaging. Het publiek moet voldoende vertrouwen krijgen in de veiligheid en betrouwbaarheid van deze technologie. Dit is onder meer afhankelijk van de bereidheid van fabrikanten om verantwoordelijkheid te nemen bij incidenten. Ook kunnen verschillen in aanpak tussen bedrijven het vertrouwen van consumenten aantasten en bijgevolg de adoptie van AV's vertragen (Brodsky, 2016).

Deze masterthesis richt zich op de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen in het personenvervoer. De focus ligt hierbij op de technische, regelgevende en maatschappelijke aspecten van de implementatie van geautomatiseerde voertuigen in het personenvervoer. Het onderzoek zal zowel de voordelen als nadelen van deze technologie in kaart brengen, waarbij er wordt ingespeeld op onderbelichte onderzoeksgebieden in de huidige literatuur. Daarnaast zal het onderzoek inzicht bieden in hoe geautomatiseerde voertuigen kunnen bijdragen aan de duurzaamheid en veiligheid van personenvervoer.

1.2 Onderzoeksvraag

De centrale onderzoeksvraag van deze masterthesis luidt als volgt:

"Wat zijn de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer?"

In deze thesis wordt er gezocht naar een antwoord op deze centrale onderzoeksvraag. Het doel is om te onderzoeken welke voordelen en nadelen deze technologie biedt en welke invloed geautomatiseerde voertuigen mogelijk kunnen hebben op de verschillende technische en maatschappelijke aspecten. Om de centrale onderzoeksvraag op een gestructureerde manier te beantwoorden, worden de volgende deelvragen onderzocht:

Deelvraag 1: Wat zijn geautomatiseerde voertuigen en welke mogelijke toepassingen bieden ze voor personenvervoer?

De eerste deelvraag richt zich op het onderzoeken van de technologie achter geautomatiseerde voertuigen. Daarnaast wordt er bij deze deelvraag onderzocht op welke manieren geautomatiseerde voertuigen ingezet kunnen worden in het personenvervoer.

Deelvraag 2: Hoe kunnen geautomatiseerde voertuigen de ruimtelijke organisatie en infrastructuur van steden beïnvloeden?

De tweede deelvraag richt zich op het onderzoeken van de maatschappelijke aspecten. Er wordt dus onderzocht wat de impact zal zijn op de stedelijke vorming bij grootschalige adoptie van geautomatiseerde voertuigen. Er zal ook onderzoek gedaan worden naar de behoefte aan infrastructuur en de invloed van geautomatiseerde voertuigen op het gebruik van openbare ruimte.

Deelvraag 3: Wat zijn de mogelijke effecten van geautomatiseerde voertuigen op het milieu?

Bij de derde deelvraag ligt de focus op het onderzoeken van de milieueffecten. Concreet wordt er onderzocht wat de impact zal zijn op energieverbruik en emissies. Vervolgens zal er onderzocht worden hoe de technologie van geautomatiseerde voertuigen kan bijdragen aan duurzame mobiliteit.

Deelvraag 4: Welke regelgevende uitdagingen zijn er bij de implementatie van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer?

In de laatste deelvraag worden de juridische en beleidsmatige aspecten onderzocht, waaronder veiligheid, aansprakelijkheid en de acceptatie van geautomatiseerde voertuigen binnen de bestaande regelgeving. Door deze aspecten te onderzoeken, wordt er een beter beeld gevormd van de belangrijkste uitdagingen bij het implementeren van geautomatiseerde voertuigen.

1.3 Methodologie

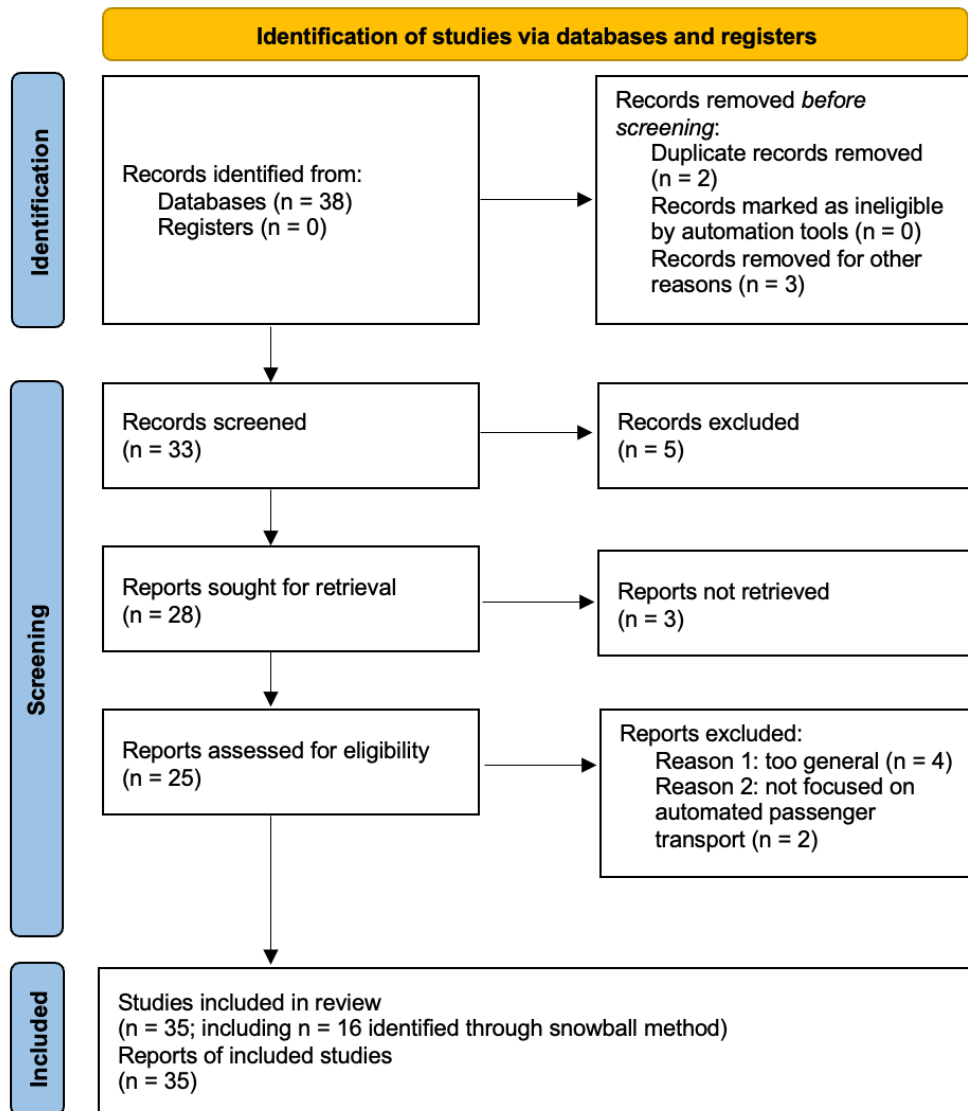
Om een antwoord te vinden op de centrale onderzoeksvraag, wordt een combinatie van literatuurstudie met een casestudy en een empirische studie uitgevoerd. Door deze methoden te combineren, wordt een diepgaand en gestructureerd inzicht verkregen in zowel de theoretische als de praktische aspecten van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer.

1.3.1 Literatuurstudie

In eerste instantie wordt een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd. Deze literatuurstudie vormt de basis van dit onderzoek en biedt een overzicht van bestaande wetenschappelijke inzichten over geautomatiseerde voertuigen en hun mogelijke impact op mobiliteit, milieu, regelgeving en maatschappelijke acceptatie. In de eerste fase werd gezocht via academische databanken zoals Google Scholar en ResearchGate, met behulp van zoektermen als “automated vehicles”, “self-driving cars”, “environmental impact AV”, “regulatory challenges AV” en “societal acceptance AV”. Deze zoekopdrachten leverden in totaal 38 resultaten op, waarvan na het verwijderen van dubbele en irrelevante records 33 artikelen gescreend werden op basis van titel en abstract.

Uiteindelijk werden 28 studies geselecteerd voor verdere analyse, waarvan de volledige tekst werd opgevraagd. Drie daarvan bleken niet beschikbaar, waardoor 25 artikels inhoudelijk beoordeeld konden worden. In deze fase werden 6 publicaties uitgesloten, voornamelijk omdat ze te algemeen waren of niet rechtstreeks gericht waren op geautomatiseerd personenvervoer. Na deze eerste selectieronde bleven 19 studies over die inhoudelijk relevant bevonden werden en geïnccludeerd zijn in het literatuuroverzicht.

Op basis van deze eerste groep werd vervolgens de sneeuwbalmethode toegepast om aanvullende literatuur te identificeren. Dit gebeurde via zowel backward snowballing (het analyseren van de referentielijsten van reeds geselecteerde artikels) als forward snowballing (het nagaan welke latere studies naar deze artikels verwezen). Op die manier werden 16 bijkomende relevante publicaties gevonden, die eveneens inhoudelijk beoordeeld en volledig geïnccludeerd zijn. In totaal omvat de literatuurstudie dus 35 wetenschappelijke bronnen, waarvan 16 via de sneeuwbalmethode werden geïdentificeerd. Het volledige zoek- en selectieproces is visueel weergegeven in het onderstaande PRISMA-flowdiagram.



Figuur 1: Visualisatie literatuurselectieproces aan de hand van een PRISMA-flowdiagram (Page et al., 2021)

Om de kwaliteit en relevantie van de bronnen te waarborgen, werd telkens eerst het abstract bestudeerd, gevolgd door inleiding en conclusie. Alleen wanneer deze onderdelen voldoende relevantie aantoonden, werd de volledige tekst gelezen. Daarnaast werd bij de selectie rekening gehouden met de publicatiedatum, het aantal citaties en de impactfactor van het tijdschrift. Gezien de snelle technologische evolutie binnen het domein van geautomatiseerde voertuigen, is voornamelijk recente literatuur opgenomen om de nieuwste ontwikkelingen en inzichten te waarborgen.

1.3.2 Casestudy

Naast de literatuurstudie wordt een relevante casestudy bestudeerd om te onderzoeken hoe geautomatiseerde voertuigen in de praktijk worden geïmplementeerd en welke uitdagingen hierbij

opkomen. Deze casestudy biedt waardevolle inzichten in de werkelijke impact van zelfrijdende voertuigen op het personenvervoer in stedelijke omgevingen en laat zien hoe de theoretische bevindingen uit de literatuur zich vertalen naar reële situaties. Het onderzoeken van deze casestudy helpt bij het identificeren van zowel de voordelen als de beperkingen die bedrijven en steden zullen ondervinden bij de implementatie van autonome voertuigen.

1.3.3 Empirische studie

Ten slotte wordt een empirische studie uitgevoerd in de vorm van diepte-interviews. Deze interviews worden afgenomen bij experts en belanghebbenden in de sector van mobiliteit en stedelijke planning, zoals beleidsmakers, onderzoekers en managers van bedrijven die werken met geautomatiseerde voertuigen. Het doel van de empirische studie is om de wetenschappelijke literatuur te toetsen en om diepgaande inzichten te verkrijgen in de percepties en ervaringen van experts binnen de sector.

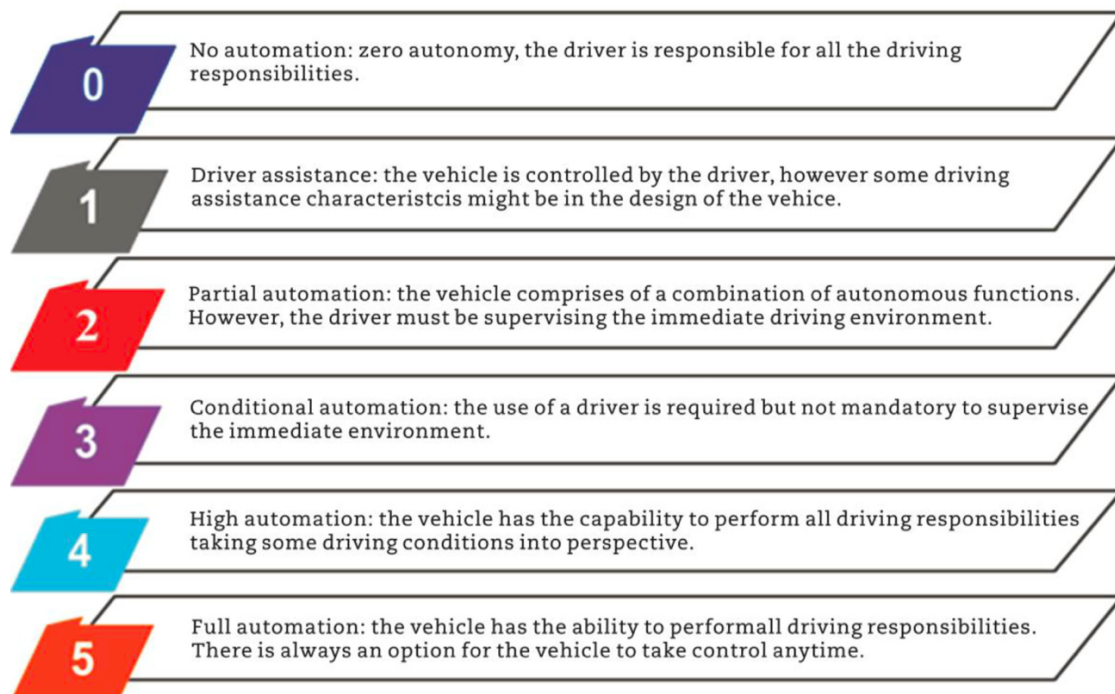
De interviews worden semigestructureerd afgenomen, wat betekent dat er een vooraf opgestelde lijst van vragen is, maar er ook ruimte wordt gelaten voor verdere verdieping door middel van aanvullende vragen. De vragen in de interviewleidraad worden opgesteld op basis van de bevindingen uit de literatuurstudie. Op deze manier kunnen de theoretische inzichten getoetst worden aan de praktijkervaringen van de experts.

2. Literatuurstudie

In de literatuurstudie wordt een antwoord geformuleerd op de vier deelvragen. In Sectie 2.1 wordt gekeken naar wat geautomatiseerde voertuigen zijn en de mogelijke toepassingen en voordelen. Sectie 2.2 behandelt de invloed van geautomatiseerde voertuigen op ruimtelijke organisatie en infrastructuur van steden. Sectie 2.3 onderzoekt de mogelijke impact op het milieu, waaronder energieverbruik en emissies. Tot slot gaat Sectie 2.4 in op de regelgeving en beleidsuitdagingen rond deze technologie.

2.1 Definitie en toepassingen van geautomatiseerde voertuigen

Geautomatiseerde voertuigen zijn voertuigen die zelfstandig navigeren en opereren met behulp van sensoren, algoritmen en artificiële intelligentie. De Society of Automotive Engineers (SAE) heeft een classificatiesysteem ontwikkeld dat de mate van automatisering in zes niveaus indeelt, variërend van niveau 0 (geen automatisering) tot niveau 5 (volledig autonoom). Niveau 1 en 2 omvatten systemen die de bestuurder ondersteunen, zoals adaptieve cruisecontrol en rijstrookassistentie. Bij niveau 3 kan het voertuig bepaalde rijtaken volledig overnemen, terwijl de bestuurder in specifieke situaties moet kunnen ingrijpen. Vanaf niveau 4 functioneert het voertuig zelfstandig binnen bepaalde omgevingen, zoals stadscentra, zonder menselijke interventie. Niveau 5 betekent volledige autonomie onder alle wegomstandigheden en zonder menselijke bestuurder (Olayode et al., 2023).



Figuur 2: Zes niveaus van automatisering in voertuigen (Olayode et al., 2023, p. 1040)

Figuur 2 visualiseert deze zes niveaus van automatisering op een overzichtelijke manier, van nul tot vijf. Elk niveau wordt kort omschreven aan de hand van de rol van de bestuurder en de mate waarin het voertuig autonoom functioneert. Deze figuur helpt om de graduele evolutie van rijondersteuning naar volledige autonomie concreet te maken, en toont duidelijk dat pas vanaf niveau 4 en 5 sprake is van echt zelfrijdend vervoer zonder menselijke tussenkomst.

2.1.1 Zelfrijdende taxi's en gedeelde mobiliteit

Een van de belangrijkste toepassingen van geautomatiseerde voertuigen is het aanbieden van autonome taxidiensten. Verschillende bedrijven, zoals Waymo en Uber, ontwikkelen en testen autonome voertuigen voor commerciële taxidiensten. Deze voertuigen kunnen de efficiëntie van stedelijke mobiliteit verhogen door het delen van ritten, wat leidt tot een vermindering van het totale aantal voertuigen op de weg (Karolemeas et al., 2024).

2.1.2 Openbaar vervoer en first/last-mile oplossingen

Autonome voertuigen kunnen ook worden ingezet als aanvulling op het openbaar vervoer. Door de integratie van zelfrijdende shuttles in stedelijke vervoersnetwerken kunnen first- en last-mile problemen worden opgelost. Dit betekent dat reizigers gemakkelijker van hun woonplaats naar grotere OV-knooppunten kunnen reizen zonder afhankelijk te zijn van traditionele voertuigen (Taeihagh & Lim, 2018).

2.1.3 Persoonlijke voertuigen met autonome functionaliteit

Naast commerciële toepassingen worden steeds meer autonome functies geïntegreerd in privévoertuigen. Moderne auto's zijn al uitgerust met rijhulpsystemen zoals adaptieve cruisecontrol, automatische remsystemen en rijstrookassistentie. De verwachting is dat deze technologieën verder worden ontwikkeld en uitgebreid tot volledige autonomie (Kyriakidis et al., 2017).

2.1.4 Voordelen van geautomatiseerde voertuigen

Een van de belangrijkste voordelen van AV's is de potentiële verbetering van verkeersveiligheid. Uit onderzoek blijkt dat menselijke fouten verantwoordelijk zijn voor 90% van de verkeersongevallen. Autonome voertuigen kunnen dit aanzienlijk verminderen door geavanceerde detectiesystemen en algoritmen die risico's nauwkeuriger inschatten dan menselijke bestuurders. Volgens recente analyses zou de introductie van niveau 4 en 5 AV's kunnen leiden tot een daling van het aantal ongevallen met 70% (Fagnant & Kockelman, 2015). AV's kunnen door hun geavanceerde sensoren en real-time beslissingsvermogen sneller reageren dan menselijke bestuurders, waardoor het aantal ongevallen aanzienlijk kan afnemen (Fagnant & Kockelman, 2015).

Door de introductie van gedeelde autonome voertuigen kan de noodzaak voor individueel autobezit verminderen. Volgens simulatiestudies zou een vloot van gedeelde AV's het aantal privéauto's in

stedelijke gebieden met 50-90% kunnen terugdringen. Dit heeft niet alleen invloed op verkeersdrukte, maar ook op ruimtelijke ordening, doordat minder parkeerruimte nodig is en steden efficiënter kunnen worden ingericht (Acheampong et al., 2021). Dit leidt tot een afname van de parkeerbehoefte en een efficiënter ruimtegebruik in stedelijke gebieden. Studies tonen aan dat door de implementatie van AV's meer openbare ruimte vrijkomt voor andere stedelijke functies, zoals fietspaden en groene zones (Acheampong et al., 2021).

AV's kunnen een belangrijke rol spelen in de verduurzaming van mobiliteit. Uit onderzoek blijkt dat autonome voertuigen de CO₂-uitstoot met 30% kunnen verminderen door efficiënter rijgedrag en elektrische aandrijving te stimuleren (Olayode et al., 2023). Studies tonen ook aan dat gedeelde autonome voertuigen het energieverbruik met 20-50% kunnen verlagen, afhankelijk van het gebruiksscenario (Gruel & Stanford, 2016). Door efficiënter rijgedrag, zoals geoptimaliseerde acceleratie en remmen, kan het energieverbruik worden verminderd. Bovendien vergemakkelijkt de technologie de transitie naar elektrische voertuigen, wat leidt tot een lagere uitstoot van broeikasgassen (Olayode et al., 2023).

2.1.5 Beperkingen en uitdagingen

Ondanks de vele voordelen blijven er technologische obstakels bestaan. Het correct interpreteren van complexe verkeerssituaties, zoals slecht weer of onverwachte obstakels, vormt een uitdaging voor AV's. Sensoren en software moeten voortdurend worden verbeterd om betrouwbaarheid te garanderen (Taeihagh & Lim, 2018).

Juridische kaders moeten worden aangepast om de adoptie van AV's te vergemakkelijken. Een belangrijk vraagstuk is wie aansprakelijk is bij ongevallen: de bestuurder, de fabrikant of de softwareontwikkelaar? Regelgevende instanties werken aan nieuwe wetgeving om deze kwesties aan te pakken (Fagnant & Kockelman, 2015).

Het is belangrijk om niet alleen de directe voordelen van autonome voertuigen te bekijken, maar ook de bredere impact op mobiliteitsgedrag en ruimtelijke ordening. In sommige scenario's kan de toegenomen efficiëntie bijvoorbeeld leiden tot meer vervoersvraag en uiteindelijk grotere congestie. Beleidsmaatregelen zijn daarom cruciaal om deze technologie op een duurzame manier te implementeren (Gruel & Stanford, 2016).

2.2: Impact van geautomatiseerde voertuigen op ruimtelijke organisatie en infrastructuur van steden

De opkomst van geautomatiseerde voertuigen zal aanzienlijke implicaties hebben voor de stedelijke infrastructuur en ruimtelijke ordening. Steden zullen zich moeten aanpassen aan veranderende mobiliteitspatronen en een efficiënter gebruik van de beschikbare ruimte. Deze sectie onderzoekt hoe AV's de ruimtelijke verdeling, infrastructuur en mobiliteitsstructuren beïnvloeden.

2.2.1 Invloed op stedelijke vorming

AV's kunnen bijdragen aan een verhoogde stedelijke dichtheid in centrale gebieden dankzij efficiënter ruimtegebruik en verbeterde toegankelijkheid tot voorzieningen (Stead & Vaddadi, 2019). Tegelijkertijd kan een verbeterd reiscomfort en de mogelijkheid om reistijd productief te benutten leiden tot suburbanisatie, wat de stedelijke spreiding kan vergroten (Yigitcanlar et al., 2019). Uit simulaties blijkt dat in sommige scenario's stedelijke expansie met 20-40% kan toenemen door AV's, afhankelijk van beleidsmaatregelen en de adoptiegraad van gedeelde mobiliteit (Soteropoulos et al., 2018).

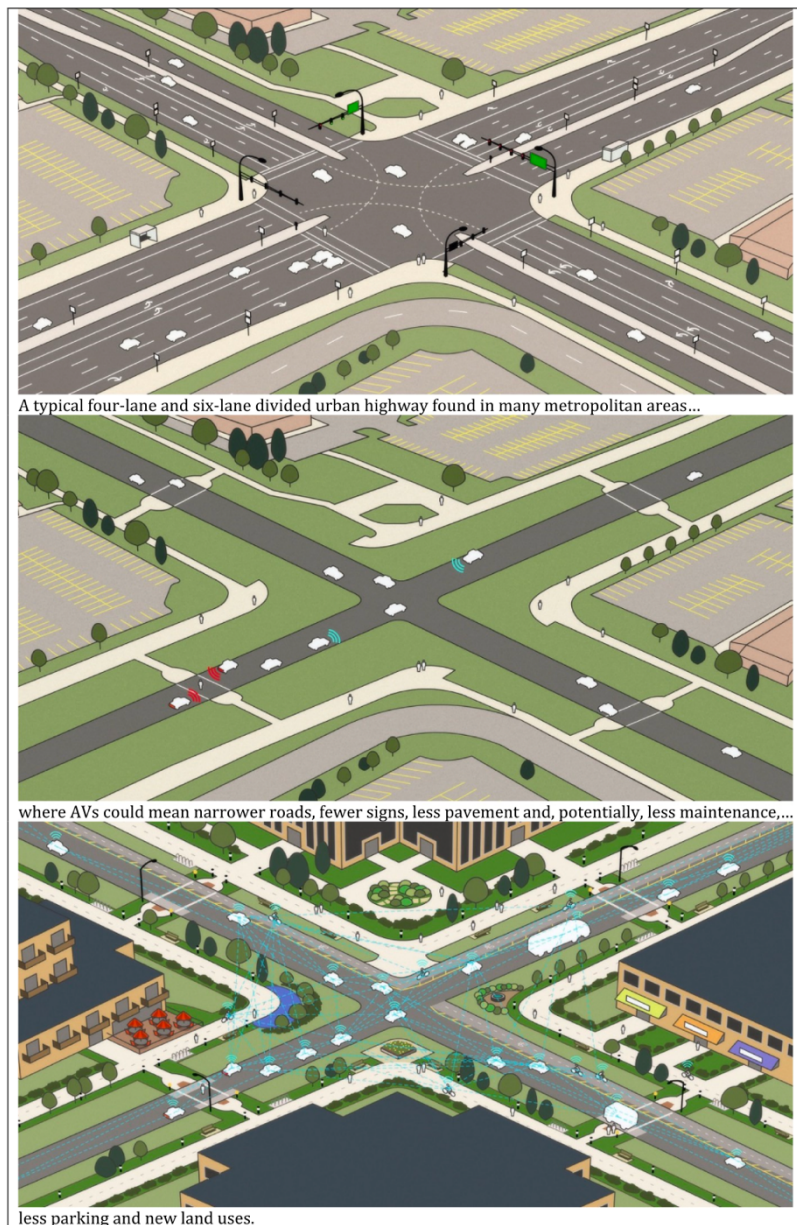
Een van de meest significante gevolgen van AV's is de afname van de parkeerbehoefte in stadscentra. AV's kunnen efficiënter parkeren en hebben mogelijk minder voertuigen nodig door gedeeld gebruik, waardoor ruimte vrijkomt voor andere stedelijke functies zoals groene zones en voetgangersgebieden (González-González et al., 2019). Dit biedt kansen om parkeergarages en parkeerplaatsen te herbestemmen voor woningbouw en commerciële doeleinden (Nourinejad et al., 2018). In sommige steden wordt onderzocht hoe voormalige parkeerterreinen gebruikt kunnen worden voor nieuwe woonontwikkelingen of recreatieve ruimten, aangezien de vraag naar centrale parkeerplekken afneemt (Nourinejad et al., 2018).

2.2.2 Invloed op infrastructuur

De infrastructuur moet zich aanpassen om optimaal gebruik te maken van AV's. Intelligente verkeersmanagementsystemen, zoals dynamisch rijstrookbeheer en geautomatiseerde verkeerslichten, kunnen bijdragen aan een efficiëntere verkeersdoorstroming (Tengilimoglu et al., 2022). Daarnaast kunnen AV's de wegingdeling veranderen, bijvoorbeeld door smallere rijstroken en een vermindering van de behoefte aan verkeerslichten (Calvert et al., 2017).

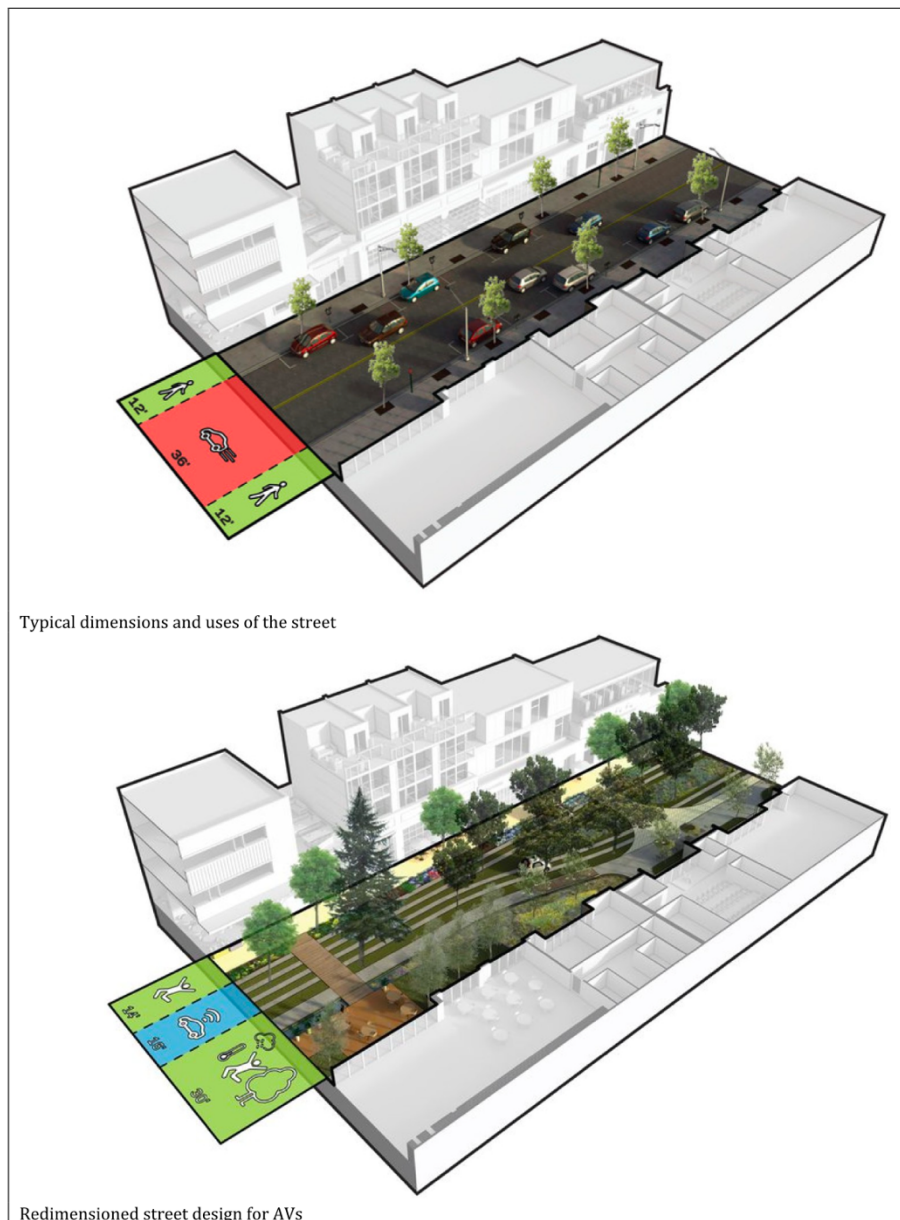
Volgens simulaties kunnen AV's de capaciteit van stedelijke wegen met tot 40% verhogen, mits een voldoende hoge adoptiegraad wordt bereikt (Park et al., 2021). Tegelijkertijd waarschuwen sommige studies voor een potentiële toename in congestie in overgangsfasen waarin AV's en conventionele voertuigen nog gemengd worden gebruikt (Park et al., 2021).

Autonome voertuigen kunnen bijdragen aan een herstructurering van stedelijke wegeninfrastructuur. Door de verhoogde precisie van zelfrijdende voertuigen kunnen rijstroken smaller worden, wat ruimte vrijmaakt voor alternatieve vormen van vervoer, zoals fiets- en voetpaden. Daarnaast kunnen gedeelde en autonome voertuigen de behoefte aan conventionele parkeerruimtes verminderen, waardoor bepaalde wegen anders kunnen worden ingericht. Dit biedt de mogelijkheid om de stedelijke mobiliteitsruimte efficiënter te benutten, met meer nadruk op multimodaal transport en duurzamere vervoersopties (Stead & Vaddadi, 2019).



Figuur 3: Herstructurering van wegen voor geautomatiseerde voertuigen (Stead & Vaddadi, 2019, p. 129)

Figuur 3 illustreert deze ruimtelijke evolutie op visuele wijze. In de bovenste afbeelding zien we een klassieke stedelijke kruispunt met brede rijstroken, veel verkeerslichten en een aanzienlijke oppervlakte aan parkeerinfrastructuur. In het middenbeeld zijn de rijstroken al duidelijk smaller en is het verkeersbeeld eenvoudiger georganiseerd. In de onderste afbeelding wordt het potentieel van AV's ten volle benut: er is minder autoverkeer, meer groene ruimte, bredere voetpaden en nieuwe functies in de vrijgekomen stedelijke ruimte. De figuur toont dus hoe de opkomst van AV's niet alleen impact heeft op mobiliteit, maar ook kansen biedt voor stedelijke verdichting, vergroening en functiemenging.

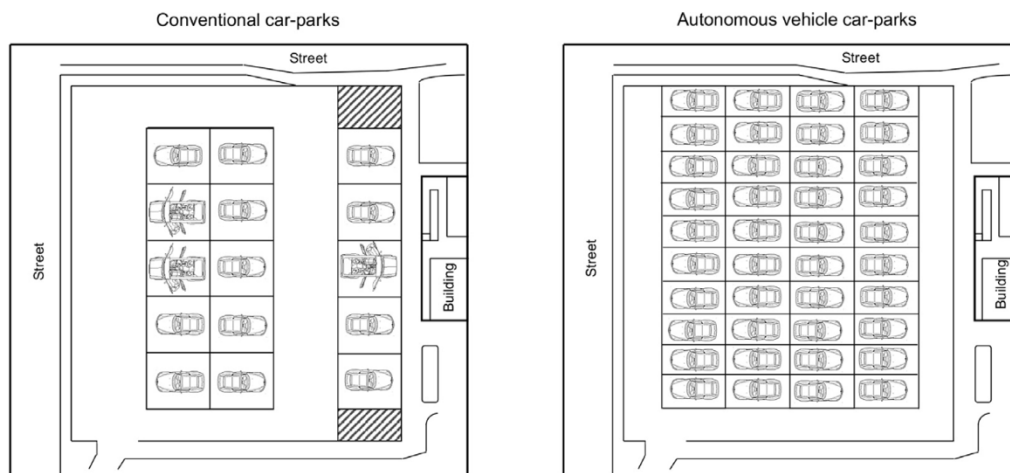


Figuur 4: Aangepaste indeling van straat voor geautomatiseerde voertuigen (Stead & Vaddadi, 2019, p. 130)

Doordat AV's de noodzaak tot parkeren in stadscentra verminderen, kunnen parkeerfaciliteiten naar de rand van stedelijke gebieden worden verplaatst. Autonome parkeersystemen kunnen aanzienlijk compacter worden ingericht, waarbij modellen suggereren dat deze tot 62% minder ruimte innemen dan conventionele parkeerterreinen (Nourinejad et al., 2018).

Figuur 4 illustreert hoe deze verschuiving een fundamentele herinrichting van straatprofielen mogelijk maakt. In de bovenste afbeelding wordt een traditionele straat weergegeven met brede rijstroken en geparkeerde voertuigen aan weerszijden, wat resulteert in een vrij autogerichte inrichting. In de onderste afbeelding wordt een toekomstscenario met AV's voorgesteld: door het wegvallen van geparkeerde wagens komt er aanzienlijk meer ruimte vrij voor voetgangers, fietsers en groenvoorzieningen. De straat wordt herverdeeld met nadruk op verblijfskwaliteit, ecologie en

zachte mobiliteit. Dit onderstreept het ruimtelijk potentieel van AV's om stadsruimte te transformeren tot meer leefbare en multifunctionele publieke zones.



Figuur 5: Conventionele parking versus parking voor geautomatiseerde voertuigen (Nourinejad et al., 2018, p. 111)

Figuur 5 toont op duidelijke wijze hoe autonome voertuigen kunnen bijdragen aan een efficiënter ruimtegebruik binnen parkeervoorzieningen. In het linkerbeeld wordt een klassiek parkeerterrein weergegeven waarbij conventionele voertuigen telkens voldoende ruimte moeten hebben om in en uit te stappen. Dit vereist bredere parkeervakken en manoeuvreerruimte. In contrast toont het rechterbeeld hoe eenzelfde terrein met autonome voertuigen veel compacter kan worden ingericht. Doordat passagiers elders uitstappen en AV's zichzelf kunnen parkeren zonder openstaande deuren of menselijke tussenkomst, kan de volledige oppervlakte maximaal benut worden.

Deze verschuiving betekent een drastische vermindering van het ruimtebeslag voor parkeren, wat steden de mogelijkheid geeft om parkeerterreinen te herbestemmen voor groenvoorzieningen, publieke ruimte of stedelijke ontwikkeling. Op die manier draagt het gebruik van AV's bij aan een duurzamere en efficiëntere inrichting van de stedelijke omgeving (Stead & Vaddadi, 2019).

2.2.3 Gedeelde autonome voertuigen

Gedeelde autonome voertuigen (SAV's) kunnen leiden tot een ingrijpende herinrichting van stedelijke infrastructuur. In simulaties van de Brusselse regio bleek dat een vloot van slechts 1000 SAV's voldoende was om 10% van de huidige binnenstedelijke autoritten te vervangen. Elke SAV verving in dit scenario gemiddeld tien conventionele voertuigen. Bovendien kon het systeem dankzij carpooling een aanzienlijk deel van de verplaatsingen bundelen, waarbij 50% van de ritten meer dan één passagier vervoerde (Li et al., 2023).

De inzet van SAV's gaat gepaard met een sterke daling in parkeerbehoefte. Volgens meerdere studies kan de totale parkeerdruk met 67 tot 90% afnemen, afhankelijk van de mate van voertuigdeling en de mate van automatisering. Een dergelijke reductie maakt het mogelijk om bestaande

parkeerruimtes, die in sommige Amerikaanse stadscentra tot 31% van het grondoppervlak beslaan, te herbestemmen voor andere functies, zoals groenvoorzieningen of infrastructuur voor actieve mobiliteit (González-González et al., 2019).

De totale afstand die door SAV's wordt afgelegd, stijgt met gemiddeld 11% in vergelijking met traditionele autogebruik. Dit bleek uit een simulatie voor de stad Lissabon, waar het merendeel van deze toename werd veroorzaakt door verplaatsingen zonder passagier, bijvoorbeeld wanneer voertuigen zich herpositioneren naar zones met hogere vraag. In datzelfde scenario gebeurde 12% van alle gereden kilometers zonder inzittende (Martinez & Viegas, 2017).



Figuur 6: Simulatiemodel voor gedeeld autonoom vervoer in Lissabon, met taxi- en minibusdiensten (Martinez & Viegas, 2017, p. 18)

Figuur 6 visualiseert de werking van een gedeeld autonoom vervoerssysteem (SAV), zoals getest in de simulatie van Lissabon (Martinez & Viegas, 2017). In dit schema geeft de gebruiker zijn vertrekpunt, bestemming, gewenste vertrektijd en voorkeur voor gedeeld vervoer door aan het systeem. Op basis daarvan wordt er automatisch een vervoersoplossing toegewezen, bijvoorbeeld een gedeelde taxi of een combinatie met het openbaar vervoer.

De figuur illustreert niet enkel de flexibiliteit van dergelijke systemen, maar maakt ook duidelijk dat SAV's regelmatig lege ritten maken tussen drop-off- en pick-uplocaties, of bij herpositionering naar zones met hogere vraag. Dit leidt tot een toename van het totaal aantal gereden kilometers. Zo steeg in het Lissabon-scenario de afgelegde afstand met gemiddeld 11% ten opzichte van traditionele autogebruik, waarbij 12% van alle kilometers zonder passagier werd afgelegd. Dit benadrukt het belang van een goede afstemming tussen vraag en aanbod om de efficiëntie van gedeelde autonome mobiliteit te maximaliseren (Martinez & Viegas, 2017).

Deze toename in lege kilometers vormt een aandachtspunt voor infrastructuurplanning. Op piekmomenten werd vastgesteld dat meer dan 25% van de SAV's onderweg was zonder passagier om zich te verplaatsen naar drukbezochte zones. Hoewel dit bijdroeg aan de operationele efficiëntie van het systeem, betekent het ook dat infrastructuur zoals op- en afstapzones strategisch moet worden ingepland om onnodige belasting van het netwerk te vermijden (Li et al., 2023).

Door het samenspel van lagere parkeerdruk en hogere voertuigbenutting ontstaan kansen om stedelijke ruimte anders in te richten. In plaats van grootschalige parkeerterreinen, kunnen steden investeren in multimodale knooppunten en laadstations, of publieke ruimtes creëren waar actieve vervoersmodi voorrang krijgen. Dit draagt bij aan een meer efficiënte en leefbare stedelijke infrastructuur, mits de implementatie van SAV's gepaard gaat met goed gecoördineerde ruimtelijke planning (González-González et al., 2019).

2.2.4 Impact op mobiliteitsstructuren

Door de bredere inzet van AV's kunnen moeilijk bereikbare gebieden beter worden geïntegreerd in stedelijke netwerken. Dit kan mobiliteit verbeteren voor groepen die traditioneel minder toegang hadden tot vervoer, zoals ouderen en mensen met een beperking (Milakis et al., 2017). Daarnaast kunnen gedeelde autonome voertuigen (SAV's) de afhankelijkheid van privévoertuigen verminderen en de overstap naar intermodaal vervoer vergemakkelijken (Carrese et al., 2019). Gedeelde AV-modellen kunnen het aantal voertuigen op de weg met tot 50% verminderen, wat impact kan hebben op de stedelijke verkeersstromen en mobiliteitsstructuren (Soteropoulos et al., 2018).

De implementatie van AV's zal waarschijnlijk leiden tot een toename van het aantal voertuigkilometers, aangezien mensen verder van hun werk en voorzieningen kunnen wonen zonder de nadelen van zelf rijden (Soteropoulos et al., 2018). Dit kan echter ook leiden tot meer congestie en een verhoogde vraag naar infrastructuur. Daarnaast kan de impact op het openbaar vervoer tweezijdig zijn: enerzijds kunnen AV's openbaar vervoer aanvullen, anderzijds kunnen ze een concurrent vormen voor traditionele OV-diensten (Milakis et al., 2018).

2.2.5 Impact op capaciteit

De introductie van geautomatiseerde voertuigen heeft potentieel aanzienlijke gevolgen voor de capaciteit van stedelijke wegennetwerken. Verschillende simulaties en verkeersmodellen tonen aan dat de reactietijd en volgafstand van voertuigen bepalend zijn voor de mate waarin AV's de wegcapaciteit kunnen beïnvloeden. Zo blijkt uit macromodellering van snelwegcorridors dat AV's, afhankelijk van hun reactievermogen, bij een toename in penetratiegraad tot 30 à 50% kunnen zorgen voor betere doorstroming en een hogere benutting van infrastructuur (Vander Laan & Sadabadi, 2017).

Het verbeterde reactievermogen van AV's maakt het mogelijk om voertuigen dichter op elkaar te laten rijden zonder verlies aan veiligheid. Hierdoor neemt de kritieke dichtheid toe, wat resulteert in een hogere maximale capaciteit per rijstrook. Simulaties tonen aan dat voertuigen met kortere reactietijden een steilere en hogere fundamentele diagramcurve genereren. Met andere woorden: meer voertuigen kunnen per tijdseenheid worden verwerkt, zolang congestie wordt vermeden. Dit voordeel is vooral merkbaar bij snelheden waarbij menselijke bestuurders normaal gesproken grotere veiligheidsmarges hanteren (Vander Laan & Sadabadi, 2017).

Naast individuele capaciteitswinst via kortere volgafstanden, tonen case studies ook aan dat het inzetten van gedeelde AV's met slimme herpositionering substantiële capaciteitswinst kan opleveren op stedelijk niveau. In Brussel bleek uit een agent-based simulatie dat één gedeelde AV tot tien conventionele voertuigen kan vervangen, vooral dankzij carpooling en efficiënte relocatie van voertuigen op basis van vraagvoorspelling. Hierdoor daalde niet alleen het totaal aantal voertuigen op de weg, maar ook de gemiddelde wachttijd voor gebruikers, wat bijdroeg aan een vlottere mobiliteit en lagere congestie (Li et al., 2023).

De combinatie van technologische voordelen zoals kortere reactietijden en beleidsstrategieën zoals voertuigdeling en slimme herpositionering, suggereert dat AV's bij een doordachte implementatie kunnen bijdragen aan een efficiënter ruimtegebruik en betere benutting van bestaande infrastructuur (Li et al., 2023). Tegelijkertijd tonen de simulaties aan dat dit alleen mogelijk is binnen bepaalde grenzen van marktpenetratie, en dat overbelasting van AV-specifieke rijstroken of diensten tot negatieve terugslag kan leiden (Vander Laan & Sadabadi, 2017).

2.2.6 Maatschappelijke impact

De introductie van geautomatiseerde voertuigen brengt aanzienlijke maatschappelijke veranderingen met zich mee, vooral in stedelijke gebieden waar mobiliteit en infrastructuur een directe invloed hebben op de leefomgeving. Een van de belangrijkste verwachte gevolgen is de transformatie van stedelijke ruimte. Doordat AV's efficiënter gebruik maken van parkeerruimte en het aantal privévoertuigen kan afnemen, ontstaat de mogelijkheid om voormalige parkeerterreinen en wegen te herbestemmen. Hierdoor kunnen voetgangerszones, groene ruimten en recreatiegebieden worden uitgebreid, wat een positieve invloed kan hebben op de levenskwaliteit in stedelijke centra (Milakis et al., 2018).

Tegelijkertijd bestaat het risico dat AV's bestaande sociale ongelijkheden versterken. De toegankelijkheid van autonome mobiliteitsdiensten zal grotendeels afhangen van hun prijs en beschikbaarheid. Indien deze technologie vooral door commerciële aanbieders wordt beheerd, kunnen bepaalde bevolkingsgroepen met een lager inkomen minder toegang krijgen tot geautomatiseerde mobiliteit, waardoor mobiliteitsarmoede kan ontstaan (Milakis et al., 2018).

Daarnaast kunnen verbeteringen in reiscomfort en efficiëntie leiden tot een verdere verspreiding van stedelijke gebieden, doordat mensen bereid zijn om verder van hun werk of voorzieningen te wonen. Dit kan leiden tot een versterking van bestaande sociaaleconomische segregatie, waarbij hogere inkomensgroepen zich verplaatsen naar verder gelegen woonwijken, terwijl lagere inkomensgroepen mogelijk achterblijven in minder ontwikkelde stedelijke gebieden (Milakis et al., 2018).

Een ander belangrijk effect is de impact op de arbeidsmarkt. Met de opkomst van AV's kunnen beroepen in het stedelijke transport, zoals taxi- en buschauffeurs, onder druk komen te staan. Dit kan leiden tot banenverlies in sectoren die traditioneel veel werkgelegenheid boden aan laaggeschoolde werknemers (Taeihagh & Lim, 2018). Tegelijkertijd kunnen nieuwe vormen van

werkgelegenheid ontstaan, met name in de technologische en onderhoudssectoren die zich bezighouden met het beheer en de infrastructuur van autonome voertuigen (Milakis et al., 2018).

Ook op sociaal vlak kunnen AV's de manier waarop mensen zich in stedelijke gebieden verplaatsen en met elkaar omgaan veranderen. Het gebruik van gedeelde autonome voertuigen kan de afhankelijkheid van privébezit van auto's verminderen, wat een verschuiving kan betekenen naar een mobiliteitsmodel dat meer gericht is op gedeelde en flexibele transportopties. Dit kan bijdragen aan een efficiënter gebruik van stedelijke ruimte, maar ook gevolgen hebben voor sociale interactie. In traditionele openbaarvervoersystemen vindt vaak meer sociale interactie plaats dan in individuele voertuigen. Indien AV's leiden tot verdere individualisering van mobiliteit, kan dit invloed hebben op het sociaal netwerk van steden (Milakis et al., 2018).

2.3 Mogelijke effecten van geautomatiseerde voertuigen op het milieu

De introductie van geautomatiseerde voertuigen kan aanzienlijke milieueffecten hebben, zowel positief als negatief. Enerzijds kunnen deze voertuigen bijdragen aan een efficiënter energiegebruik en een reductie van broeikasgasemissies door geoptimaliseerd rijgedrag en technologische innovaties. Anderzijds kunnen veranderingen in mobiliteitsvraag en voertuigontwerp leiden tot een toename van energieconsumptie en een grotere ecologische voetafdruk. Deze sectie bespreekt de belangrijkste milieu-impactfactoren van AV's, met aandacht voor energieverbruik, emissies en mogelijke rebound-effecten.

2.3.1 Impact op energieverbruik

Een van de meest besproken voordelen van AV's is hun potentieel om energie-efficiëntie te verbeteren. Geautomatiseerde voertuigen kunnen energie besparen door eco-driving-technieken, zoals geoptimaliseerde acceleratie- en remstrategieën, een efficiëntere routeplanning en het verminderen van stationair draaien (Brown et al., 2014). Bovendien kan "platooning", waarbij voertuigen in een geautomatiseerde rijformatie rijden met minimale tussenruimte, de luchtweerstand verminderen en zo het brandstofverbruik op snelwegen aanzienlijk verlagen (Wadud et al., 2016).

Naast efficiënt rijgedrag wordt de elektrificatie van AV's als een belangrijke factor beschouwd bij de reductie van energieconsumptie en emissies. Autonome voertuigen zullen naar verwachting grotendeels elektrisch worden aangedreven, wat hun energie-efficiëntie kan verhogen in vergelijking met voertuigen met een verbrandingsmotor (Patella et al., 2019). Tegelijkertijd brengt deze transitie nieuwe uitdagingen met zich mee, zoals de hoge energie-intensiteit van batterijproductie en de noodzaak voor een bredere infrastructuur van laadstations, wat de totale milieuwinst van AV's kan beïnvloeden (Shaheen & Bouzaghrane, 2019).

Hoewel AV's energie-efficiënter kunnen zijn in hun gebruik, kunnen ze paradoxaal genoeg ook leiden tot een hogere totale energieconsumptie. Dit komt doordat de lagere kosten per kilometer en het verhoogde comfort kunnen leiden tot een toename van voertuigkilometers (Greenblatt & Saxena,

2015). Het totale verkeer kan met AV's met tot 50% toenemen, wat de potentiële energiebesparingen gedeeltelijk kan compenseren (Onat et al., 2023).

2.3.2 Invloed op broeikasgasemissies en luchtkwaliteit

De impact van AV's op broeikasgasemissies (GHG) en luchtkwaliteit is sterk afhankelijk van de mate van elektrificatie en het energieverbruik per kilometer. Aan de ene kant kunnen AV's bijdragen aan emissiereducties door efficiënter rijgedrag en verminderde verkeersopstoppen (Brown et al., 2014). Een 100% penetratiescenario van AV's kan leiden tot een vermindering van de CO₂-uitstoot met tot 60% in stedelijke netwerken (Patella et al., 2019).

Maar de totale emissiebalans van AV's moet niet enkel worden bekeken in de gebruiksfase, maar ook in de productie- en recyclingfase. De productie van AV's, inclusief hun geavanceerde sensoren en computingsystemen, kan namelijk tot 40% meer emissies veroorzaken dan bij conventionele elektrische voertuigen (Onat et al., 2023). De levenscyclusanalyse van AV's suggereert dat, ondanks potentiële emissiereducties tijdens het gebruik, de verhoogde emissies in de productiefase deze voordelen deels kunnen compenseren (Wadud et al., 2016).

Daarnaast is de impact op stedelijke luchtkwaliteit afhankelijk van het aandeel elektrische AV's in de totale voertuigvloot. Bij een volledige elektrificatie zouden de emissies van stikstofoxiden en fijnstof aanzienlijk dalen, wat bijdraagt aan een betere stedelijke luchtkwaliteit (Greenblatt & Shaheen, 2015). Maar in scenario's waar een groot deel van de AV's nog steeds op fossiele brandstoffen rijdt, kan de toename in voertuigkilometers resulteren in een netto negatieve impact op de luchtkwaliteit (Wadud et al., 2016).

2.3.3 Levenscyclus van autonome voertuigen en milieueffecten

De milieueffecten van autonome voertuigen moeten worden beoordeeld op basis van hun volledige levenscyclus, die bestaat uit drie hoofdcomponenten: de productiefase, de operationele fase en de end-of-life-fase. In elk van deze fasen ontstaan er milieu-uitdagingen en kansen voor verduurzaming (Onat et al., 2023).

De productie van autonome voertuigen is complexer dan die van conventionele voertuigen door de toevoeging van batterijen, autonome rijsystemen en geavanceerde sensoren. Deze extra componenten verhogen de milieu-impact aanzienlijk. De productie van autonome voertuigen leidt tot een gemiddelde stijging van 40% in de CO₂-uitstoot vergeleken met niet-autonome elektrische voertuigen. Dit komt vooral door de energie-intensieve productie van batterijen en componenten voor artificiële intelligentie zoals processors en chips (Onat et al., 2023).

Daarnaast speelt transport en distributie een rol in de emissiebalans. Tijdens de verzending en levering van voertuigen komen aanzienlijke emissies vrij, met name wanneer de bevoorradingsketen afhankelijk is van fossiele brandstoffen. Bovendien kan het rebound-effect, de indirecte toename van

mobiliteit door lagere rij- en eigendomskosten, al in deze fase worden meegenomen als een factor die uiteindelijk het totale energieverbruik van AV's verhoogt (Onat et al., 2023).

Tijdens de operationele fase kunnen AV's door energie-efficiënt rijden en slimme verkeerssystemen hun energieverbruik met 21,2% verminderen. Daarnaast kan het gebruik van hernieuwbare energiebronnen een belangrijke rol spelen bij het verlagen van de emissies (Onat et al., 2023). Echter, wanneer elektriciteit nog grotendeels uit fossiele bronnen wordt opgewekt, kan het netto-effect op de emissies beperkt zijn (Acheampong et al., 2021).

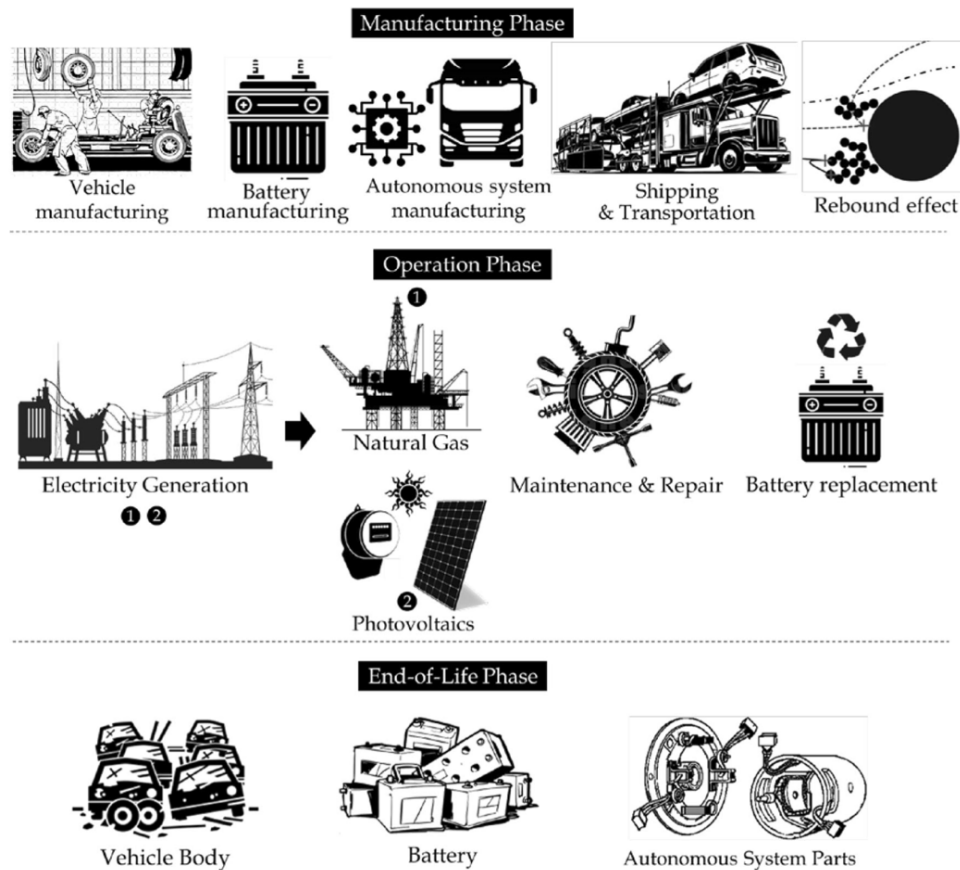
Tegelijkertijd vereist de operationele fase regulier onderhoud en batterijvervanging, wat extra materiaalgebruik en emissies veroorzaakt. Vooral de vervanging van batterijen is een cruciale factor, aangezien de levensduur van batterijen beperkt is en hun productie een hoge CO₂-uitstoot en grondstoffenverbruik met zich meebrengt (Onat et al., 2023).

Aan het einde van hun levenscyclus belanden autonome voertuigen in de end-of-life-fase, waarin recycling en hergebruik van componenten cruciaal zijn om de totale milieu-impact te verminderen. De verwerking van voertuigonderdelen, batterijen en autonome systemen kan leiden tot extra emissies, maar biedt ook mogelijkheden om materialen te herwinnen en opnieuw in de productieketen te integreren (Onat et al., 2023).

Batterijen vormen een van de grootste uitdagingen in deze fase. Terwijl sommige batterijen hergebruikt kunnen worden voor energieopslag in netwerken, belanden veel lithium-ionbatterijen uiteindelijk in afvalverwerkingssystemen, wat het risico op schadelijke milieueffecten vergroot. Naast batterijen moeten ook autonome systeemonderdelen, zoals sensoren en computers, op een duurzame manier worden verwerkt om de impact op e-waste te minimaliseren (Onat et al., 2023).

Figuur 7 biedt een visuele samenvatting van de volledige levenscyclus van autonome voertuigen, opgedeeld in drie fasen: productie, gebruik en end-of-life. De figuur maakt duidelijk dat niet alleen de directe emissies tijdens het rijden, maar ook indirecte factoren zoals elektriciteitsproductie, materiaalgebruik, onderhoud en recycling, mee in rekening moeten worden genomen bij de beoordeling van de milieubalans. Opvallend is dat ook het rebound-effect al als onderdeel van de productie-impact wordt voorgesteld, wat benadrukt dat gedragsverandering en gebruikspatronen niet losstaan van het technisch ontwerp.

Daarnaast toont de figuur hoe het energieverbruik tijdens de operationele fase sterk afhangt van de bron van elektriciteit (bv. aardgas vs. zonne-energie), en hoe het einde van de levenscyclus nieuwe uitdagingen stelt voor circulaire verwerking van complexe onderdelen zoals batterijen en autonome systemen. Deze overzichtelijke weergave onderstreept de noodzaak van een integrale benadering bij het verduurzamen van AV's.



Figuur 7: Levenscyclus van autonome voertuigen (Onat et al., 2023, p. 9)

2.3.4 Rebound-effecten en indirecte milieu-impact

Naast directe energie- en emissie-effecten kunnen AV's onbedoelde gevolgen hebben door veranderingen in mobiliteitsgedrag en ruimtelijke ordening. Een van de meest onderzochte fenomenen is het rebound-effect, waarbij een toegenomen efficiëntie paradoxaal genoeg leidt tot meer gebruik van het vervoermiddel. Doordat AV's de reiskosten en tijdsinvestering verminderen, kunnen gebruikers meer en langere ritten maken, wat de energiewinst deels tenietdoet (Shaheen & Bouzaghrane, 2019).

Daarnaast kunnen AV's de modale verdeling van vervoer veranderen. Wanneer autonoom vervoer breed beschikbaar en betaalbaar wordt, kunnen reizigers overstappen van openbaar vervoer naar individueel autoverkeer, wat mogelijk leidt tot meer congestie en emissies (Wadud et al., 2016). Dit effect kan vooral groot zijn in steden waar het openbaar vervoer al een belangrijke rol speelt in de mobiliteit (Greenblatt & Saxena, 2015).

Ten slotte kunnen AV's ook ruimtelijke gevolgen hebben. Hoewel gedeelde AV's de noodzaak van parkeerruimte in stedelijke gebieden kunnen verminderen, kan het grotere comfort en de flexibiliteit van autonoom vervoer leiden tot een toename van suburbanisatie. Dit zou kunnen resulteren in een

verdere verspreiding van stedelijke gebieden, waardoor de totale transportgerelateerde emissies en het energieverbruik toenemen (Onat et al., 2023).

2.4 Regelgevende uitdagingen bij de implementatie van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer

De implementatie van geautomatiseerde voertuigen in het personenvervoer brengt aanzienlijke regelgevende uitdagingen met zich mee. Overheden staan voor de taak om een juridisch kader te ontwikkelen dat zowel innovatie stimuleert als veiligheid en maatschappelijke belangen waarborgt. Ondanks de snelle technologische vooruitgang blijven er aanzienlijke onzekerheden over aansprakelijkheid, veiligheid, privacy, infrastructuur en de impact op bestaande vervoersmodellen. Deze sectie onderzoekt de belangrijkste regelgevende belemmeringen die de grootschalige invoering van AV's kunnen vertragen.

2.4.1 Juridische onzekerheden en aansprakelijkheid

Een van de grootste uitdagingen bij de regulering van AV's is de vaststelling van aansprakelijkheid bij ongevallen. Traditionele verkeerswetgeving gaat uit van menselijke bestuurders als primaire verantwoordelijken, maar bij volledig autonome voertuigen verschuift deze verantwoordelijkheid mogelijk naar fabrikanten, softwareontwikkelaars of zelfs exploitanten van gedeelde AV-diensten (Brodsky, 2016). De huidige wetgeving is hierop nog niet voorbereid, wat leidt tot onduidelijkheid over schadevergoedingen en verzekeringsclaims. In sommige jurisdicties wordt gesuggereerd om een productaansprakelijkheidsmodel in te voeren, waarbij de producent van het voertuig of de software verantwoordelijk wordt gesteld voor fouten in de autonome systemen (Taeihagh & Lim, 2018).

Daarnaast kan het bestaan van verschillende automatiseringsniveaus de juridische verantwoordelijkheid bemoeilijken. Bij voertuigen op niveau 3 (waar menselijke bestuurders nog moeten ingrijpen wanneer nodig) blijft onduidelijk in hoeverre een bestuurder aansprakelijk is als hij niet op tijd reageert op een waarschuwing van het systeem (Kyriakidis et al., 2017).

Dit gebrek aan eenduidigheid kan leiden tot juridische geschillen en onzekerheid bij consumenten en verzekeraars. Ook wijzen studies erop dat de toepassing van bestaande wetgeving op AV's beperkingen kent en mogelijk moet worden aangepast om rekening te houden met de unieke kenmerken van autonome mobiliteit (De Bruyne & Werbrouck, 2018).

2.4.2 Gebrek aan uniforme regelgeving

De regelgeving rond AV's verschilt sterk tussen landen en zelfs binnen staten en regio's. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld hebben sommige staten (zoals Californië en Florida) eigen wetten aangenomen over het testen en commercialiseren van AV's, terwijl op federaal niveau nog geen bindende regelgeving is vastgesteld. Dit gebrek aan een uniform kader kan leiden tot inconsistenties

in regelgeving, waardoor bedrijven zich geconfronteerd zien met verschillende eisen in verschillende rechtsgebieden (Fagnant & Kockelman, 2015).

Ook in de Europese Unie bestaat er nog geen geharmoniseerde regelgeving voor AV's. Lidstaten hanteren verschillende benaderingen, waarbij sommige landen, zoals Duitsland al specifieke wetgeving hebben aangenomen met betrekking tot aansprakelijkheid en veiligheidsnormen, terwijl andere landen nog in de verkennende fase zitten (Taeihagh & Lim, 2018).

Een uniforme EU-regelgeving zou de markttoegang voor AV-technologie kunnen vergemakkelijken en juridische onzekerheid verminderen. Daarnaast wijzen onderzoeken uit dat beleidsvorming rond AV's vaak fragmentarisch verloopt, wat de implementatie vertraagt (Acheampong et al., 2021).

2.4.3 Veiligheidsnormen en certificering

Hoewel AV's potentieel veiliger kunnen zijn dan door mensen bestuurde voertuigen, blijft de vaststelling van veiligheidsnormen een uitdaging. Er bestaat nog geen breed geaccepteerde methode om de veiligheid van AV's objectief te testen en certificeren. Sommige landen hebben vrijwillige richtlijnen geïntroduceerd, terwijl anderen strengere eisen stellen aan testprocedures en rijbewijzen voor operators van geautomatiseerde voertuigen (Taeihagh & Lim, 2018).

Daarnaast speelt cyberveiligheid een belangrijke rol in de regulering van AV's. Omdat deze voertuigen afhankelijk zijn van geavanceerde software en internetverbindingen, vormen ze een potentieel doelwit voor hackers. Regelgevende instanties moeten richtlijnen ontwikkelen om cyberaanvallen te voorkomen en de veiligheid van voertuig-naar-infrastructuurcommunicatie te waarborgen (Fagnant & Kockelman, 2015).

2.4.4 Privacy en gegevensbeheer

AV's genereren enorme hoeveelheden data, variërend van route-informatie tot rijgedrag en passagiersvoorkeuren. Dit roept vragen op over gegevensopslag, privacy en eigendomsrechten. In veel rechtsgebieden ontbreken nog duidelijke wetten over wie eigenaar is van deze gegevens en hoe ze mogen worden gebruikt (Taeihagh & Lim, 2018).

Sommige wetgevers hebben reeds stappen ondernomen om privacy te beschermen. In de Europese Unie vallen AV-data onder de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG), wat bedrijven verplicht om passagiers te informeren over hoe hun gegevens worden verzameld en gebruikt (Brodsky, 2016). In de VS ontbreken nog federale richtlijnen, waardoor bedrijven grotendeels zelf bepalen hoe ze omgaan met gebruikersgegevens (Taeihagh & Lim, 2018).

2.4.5 Integratie in bestaande infrastructuur

Naast juridische kwesties moet ook de fysieke infrastructuur worden aangepast om AV's optimaal te integreren. In sommige steden worden experimenten uitgevoerd met gescheiden rijstroken voor AV's, maar de wetgeving loopt achter bij deze ontwikkelingen (Fagnant & Kockelman, 2015).

Daarnaast zijn er uitdagingen op het gebied van voertuig-naar-infrastructuurcommunicatie. Slimme verkeerslichten en digitale verkeersborden kunnen de efficiëntie van AV's verbeteren, maar vereisen aanzienlijke investeringen en standaardisatie van protocollen tussen verschillende fabrikanten (Taeihagh & Lim, 2018).

2.4.6 Impact op traditionele transportmodellen

De opkomst van AV's kan bestaande vervoerssystemen ontwrichten. Taxibedrijven en openbaarvervoerdiensten vrezen concurrentie van gedeelde autonome voertuigen, die mogelijk goedkoper en efficiënter opereren. Regelgevers moeten balanceren tussen innovatie en het beschermen van bestaande werkgelegenheid in de transportsector (Karolemeas et al., 2024).

Daarnaast vereisen gedeelde AV-diensten aangepaste wetgeving omtrent vergunningen, rijstrookgebruik en consumentenbescherming. In veel steden bestaan nog geen regels over hoe deze diensten zich verhouden tot traditionele taxi's en openbaar vervoer (Taeihagh & Lim, 2018).

2.4.7 Adaptieve beleidsvorming

De regulering van geautomatiseerde voertuigen vindt plaats onder omstandigheden van diepe onzekerheid, waarbij toekomstige technologische ontwikkelingen, maatschappelijke acceptatie en beleidsimpact moeilijk te voorspellen zijn. In zulke situaties wordt in de literatuur een aanpak voorgesteld die gebaseerd is op Dynamic Adaptive Policymaking (DAP), een beleidsvorm die uitgaat van een voorlopige strategie die systematisch wordt aangepast op basis van vooraf bepaalde drempelwaarden en voortdurende monitoring (Walker & Marchau, 2017).

DAP bestaat uit een combinatie van een basisstrategie, aanpassingsacties, triggers en een monitoringsysteem. Triggers zijn vooraf vastgelegde indicatoren die aangeven wanneer het beleid moet worden aangepast, bijvoorbeeld wanneer bepaalde prestaties van technologie achterblijven, of wanneer maatschappelijke weerstand tegen autonome voertuigen toeneemt. Door dit systeem kunnen beleidsmakers tijdig reageren op nieuwe ontwikkelingen zonder het volledige beleid te moeten herzien (Walker & Marchau, 2017).

In het geval van autonome mobiliteitsdiensten biedt deze aanpak een gestructureerde manier om in te spelen op onzekerheden, waarbij flexibiliteit en aanpasbaarheid centraal staan binnen het regelgevend kader (Walker & Marchau, 2017).

2.4.8 SUMP als beleidskader voor duurzame integratie van autonome voertuigen

Sustainable Urban Mobility Planning (SUMP) biedt een geschikt beleidskader om autonome voertuigen op een samenhangende manier te integreren binnen duurzame stedelijke mobiliteitsstrategieën. In tegenstelling tot traditionele vervoersplanning, die zich vooral richt op infrastructuur en verkeersafwikkeling, is SUMP gebaseerd op principes als ecologische duurzaamheid, publieke gezondheid, verkeersveiligheid en sociale inclusie (Gavanas et al., 2024).

Een SUMP-aanpak maakt het mogelijk om beleidsmaatregelen rond autonome voertuigen af te stemmen op lokale en Europese doelstellingen, en stimuleert samenwerking tussen verschillende bestuursniveaus. Daarnaast garandeert het kader dat participatie van burgers en stakeholders een vaste plaats krijgt in het besluitvormingsproces, wat bijdraagt aan maatschappelijke draagkracht en transparantie (Gavanas et al., 2024).

Wanneer autonome voertuigen niet ingebed worden in een geïntegreerd beleidskader zoals SUMP, ontstaat het risico dat ze bestaande ongelijkheden in mobiliteit versterken of negatieve gevolgen hebben voor het milieu en de volksgezondheid. Een strategische toepassing binnen een SUMP-visie voorkomt deze neveneffecten en zorgt ervoor dat technologische innovaties in lijn blijven met langetermijndoelstellingen op het vlak van leefbaarheid en duurzaamheid (Gavanas et al., 2024).

2.4.9 Psychologische impact op kwetsbare weggebruikers

De opkomst van autonome voertuigen heeft niet alleen technologische en infrastructurele implicaties, maar brengt ook psychologische uitdagingen met zich mee, vooral voor kwetsbare weggebruikers zoals voetgangers en fietsers. Veel eerdere studies richtten zich voornamelijk op de perceptie van potentiële gebruikers of autobestuurders, terwijl de beleving van niet-gemotoriseerde weggebruikers onderbelicht bleef. Dit vormt een belangrijk gemis in eerder onderzoek, aangezien AV's zich in gemengd verkeer zullen bewegen en de subjectieve veiligheidsbeleving van deze groep cruciaal is voor hun acceptatie (Asadi-Shekari et al., 2022).

Voetgangers en fietsers ervaren vaak een lagere prioriteit op de weg, en dit gevoel van marginalisering kan leiden tot verhoogde angst of onzekerheid wanneer zij wegen moeten delen met autonome voertuigen. Het onderzoek toont aan dat factoren zoals de verwachte impact van AV's op verkeersongevallen, het persoonlijk veiligheidsgevoel tijdens interacties met AV's, en spraakmakende incidenten zoals het ongeval met Elaine Herzberg, significante invloed hebben op de houding ten aanzien van deze technologie. Wanneer dergelijke ongevallen negatieve emoties oproepen of wantrouwen bevestigen, kan dit de bereidheid om samen te werken met AV's sterk verminderen (Asadi-Shekari et al., 2022).

Daarnaast blijkt dat individuen die menen dat AV's de verkeersveiligheid substantieel verbeteren, doorgaans positiever staan tegenover hun aanwezigheid op de openbare weg. Omgekeerd leidt scepsis ten aanzien van de veiligheid, zoals zorgen over snelheid of operationele beperkingen van de

voertuigen, tot terughoudendheid. Deze psychologische effecten onderstrepen de noodzaak voor beleidsmakers en ontwikkelaars om niet alleen technische betrouwbaarheid te garanderen, maar ook om actief te investeren in bewustwording en communicatie die vertrouwen opbouwt bij het brede publiek, in het bijzonder bij kwetsbare weggebruikers (Asadi-Shekari et al., 2022).

2.5 Casestudy: De impact van autonome voertuigen in de regio Stuttgart

De implementatie van autonome voertuigen zal naar verwachting een grote invloed hebben op mobiliteitssystemen, vooral in stedelijke gebieden waar privéautobezit nog steeds de norm is. Een relevante casestudy die dit illustreert, is de simulatie uitgevoerd in de regio Stuttgart, Duitsland, waarin een toekomstscenario werd geanalyseerd waarin privéauto's volledig werden vervangen door een autonoom mobiliteit-op-aanvraag (AMOD) systeem (Heilig et al., 2017). Bij een AMOD-systeem zijn autonome voertuigen beschikbaar op aanvraag als een flexibele vervoersdienst, vergelijkbaar met ride-hailingdiensten zoals Uber, maar dan zonder menselijke chauffeurs (Brodsky, 2016).

2.5.1 Doel en methodologie van de casestudy

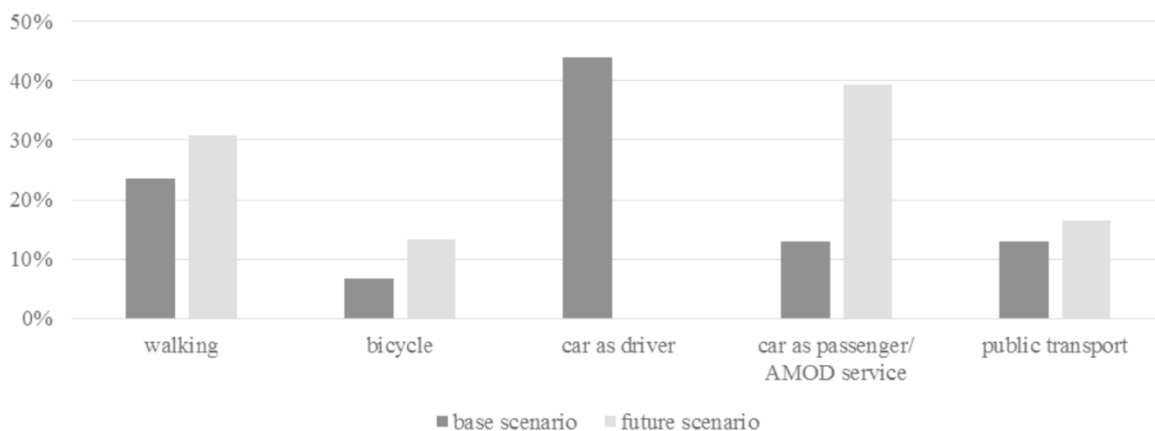
Het doel van deze casestudy was om te onderzoeken hoe een stedelijk vervoerssysteem functioneert zonder privéauto's en met een wijdverspreide inzet van gedeelde autonome voertuigen. Hiervoor werd het microscopische reisvraagmodel mobiTopp gebruikt, waarmee het reisgedrag van 2,3 miljoen agenten over een periode van één week werd gesimuleerd. Het model hield rekening met modal shift, reiskeuzes en de benodigde hoeveelheid voertuigen binnen een AMOD-systeem. De simulatie nam aan dat maximaal vier personen per voertuig konden reizen en dat alle voertuigen autonoom en op aanvraag beschikbaar waren (Heilig et al., 2017).

2.5.2 Belangrijkste bevindingen

De resultaten van de simulatie lieten zien dat de introductie van AMOD aanzienlijke veranderingen in mobiliteitsstructuren teweegbrengt (Heilig et al., 2017):

- **Afname van het aantal voertuigen:** Het onderzoek toonde aan dat tot 85% van de huidige voertuigen in de regio Stuttgart overbodig zou worden als een AMOD-systeem volledig werd geïmplementeerd. Dit komt doordat gedeelde autonome voertuigen efficiënter worden benut en minder stilstaande voertuigen nodig zijn.
- **Reductie in voertuigbewegingen:** Door ritten te combineren en voertuiggebruik te optimaliseren, zou het aantal voertuigbewegingen met 46% kunnen afnemen vergeleken met een systeem waarin privéauto's de norm blijven.
- **Vermindering van voertuigkilometers:** De simulatie wees uit dat de totale afgelegde voertuigkilometers met 20% zou dalen, ondanks een toename in de gemiddelde reisafstand. Dit is te verklaren doordat mensen minder geneigd zijn om korte ritten met de auto te maken en vaker kiezen voor alternatieve vervoerswijzen zoals wandelen, fietsen en openbaar vervoer.

- Veranderde modal shift: Niet alle autogebruikers stapten over naar AMOD. Een deel van de voormalige privéautoritten werd vervangen door lopen, fietsen en openbaar vervoer, wat wijst op een duurzamere mobiliteitsmix.



Figuur 8: Modal shift voor basis- en toekomstscenario: gemiddelde over een week (Heilig et al., 2017, p. 18)

Figuur 8 visualiseert de verschuiving in vervoersmodi tussen het basisscenario (met privéauto's als dominante modus) en het toekomstscenario met een AMOD-systeem. Wat opvalt is de sterke daling in het aandeel 'car as driver', dat in het basisscenario nog meer dan 40% bedroeg, maar in het toekomstscenario volledig verdwijnt. Dit is een logisch gevolg van het gehanteerde AMOD-scenario, waarbij voertuigen autonoom rijden en gebruikers dus niet meer zelf aan het stuur zitten. Toch benadrukt deze verschuiving duidelijk hoe ingrijpend de overgang is in termen van gebruikservaring en mobiliteitsgewoonten. Tegelijk stijgt het aandeel 'car as passenger/AMOD service' duidelijk, wat het centrale uitgangspunt van gedeelde autonome mobiliteit bevestigt.

Daarnaast is er ook een merkbare toename in het gebruik van actieve modi zoals wandelen en fietsen, wat suggereert dat het AMOD-systeem ruimte creëert voor duurzamere mobiliteitsvormen. Het gebruik van openbaar vervoer blijft relatief stabiel. Deze verschuiving wijst op een bredere gedragsverandering waarbij gebruikers kiezen voor efficiëntere en milieuvriendelijkere alternatieven. De figuur onderstreept dus de potentie van AMOD om bij te dragen aan een multimodale en minder auto-gerichte mobiliteitsstructuur.

2.5.3 Implicaties en uitdagingen voor beleid

Deze resultaten tonen aan dat een volledig geïntegreerd systeem van autonome gedeelde voertuigen een aanzienlijke impact kan hebben op de manier waarop stedelijke mobiliteit functioneert. Beleidsmakers moeten echter rekening houden met enkele cruciale uitdagingen (Heilig et al., 2017):

- Wettelijke en regelgevende obstakels: De implementatie van AMOD vereist duidelijke regelgeving omtrent aansprakelijkheid, veiligheid en markttoegang.

- Ruimtelijke en infrastructurele aanpassingen: Minder geparkeerde auto's betekent herontwikkeling van stedelijke ruimte, terwijl infrastructuur mogelijk moet worden aangepast om AV's te ondersteunen.
- Gedragsverandering bij gebruikers: De overstap naar een gedeeld mobiliteitssysteem vereist een mentaliteitsverandering bij gebruikers die gewend zijn aan privéautobezit.
- Beheer van voertuigvraag en congestie: Hoewel het totale aantal voertuigen afneemt, kan een toename in ritlengtes en het aantal verplaatsingen nieuwe congestieproblemen veroorzaken.

2.5.4 Conclusie

De casestudy van Stuttgart laat zien dat autonome voertuigen en gedeelde mobiliteitsdiensten potentieel hebben om het stedelijke vervoerssysteem ingrijpend te veranderen. Door privéautobezit te vervangen door AMOD, kunnen aanzienlijke voordelen worden behaald op het gebied van voertuigreductie, verminderde voertuigkilometers en een efficiënter gebruik van stedelijke ruimte. Tegelijkertijd brengt deze transitie belangrijke uitdagingen met zich mee, vooral op het gebied van regelgeving, infrastructuur en gedragsverandering bij gebruikers. Verdere simulaties en proefprojecten zullen nodig zijn om beter te begrijpen hoe steden zich kunnen voorbereiden op deze transformatie (Heilig et al., 2017).

2.5.5 Reflectie op toepasbaarheid in de Vlaamse context

Hoewel de casestudy uit Stuttgart waardevolle inzichten biedt over de potentiële impact van autonome gedeelde mobiliteit, moet opgemerkt worden dat deze resultaten niet zomaar één-op-één overdraagbaar zijn naar andere contexten, zoals Vlaanderen of België. De ruimtelijke structuur van Vlaanderen – met zijn versnipperde bebouwing, beperkte stedelijke dichtheid en sterk autogerichte cultuur – wijkt op meerdere vlakken af van die van Stuttgart. Waar Stuttgart gekenmerkt wordt door een duidelijke stedelijke kern met goed uitgebouwde infrastructuur, is de mobiliteitsvraag in Vlaanderen meer verspreid en afhankelijk van kleinschalige verplaatsingen over relatief korte afstanden.

Daarom is het realistisch te verwachten dat de implementatie van een AMOD-systeem in Vlaanderen stuit op extra barrières, zoals lagere efficiëntie van ritcombinatie, complexere ruimtelijke planning en een minder uitgesproken mentaliteitsverschuiving bij gebruikers. Toch blijft het onderliggende principe relevant: de casestudy toont aan dat gedeelde autonome voertuigen in staat zijn om het aantal voertuigen en afgelegde kilometers aanzienlijk te verminderen, mits de juiste beleidsmaatregelen en infrastructuraanpassingen worden getroffen. Voor Vlaanderen betekent dit vooral dat men tijdig moet inzetten op testprojecten, aangepaste regelgeving en bewustwording om na te gaan hoe AV-concepten in een meer gefragmenteerde regio kunnen functioneren.

3. Empirische studie

3.1 Selectie van respondenten

Voor het empirische luik van dit onderzoek werd gekozen voor een kwalitatieve benadering via diepte-interviews met vier experts. Aangezien geautomatiseerde voertuigen een complex en multidimensionaal thema vormen, was het belangrijk om respondenten te selecteren die elk vanuit een andere invalshoek naar het onderwerp kijken. De selectie gebeurde dus doelgericht, op basis van expertise, relevantie en spreiding in perspectieven.

Er werd bewust gekozen voor een combinatie van academische en beleidsmatige profielen. Twee respondenten zijn actief als onderzoeker of professor aan een universiteit, één respondent is beleidsadviseur bij een lokale overheid en één respondent is emeritus hoogleraar met een brede beleidswetenschappelijke achtergrond. Deze spreiding zorgt ervoor dat zowel de technologische, maatschappelijke als ruimtelijke aspecten van AV's aan bod komen. Bovendien werd ook aandacht besteed aan geografische en institutionele variatie: de respondenten zijn actief in België of Nederland, en zijn verbonden aan universiteiten, overheden of onderzoeksinstellingen met ervaring in Europese projecten rond autonome mobiliteit.

Naast het inhoudelijke profiel werd ook gekeken naar de mate van ervaring met AV-gerelateerde thema's. Alle vier de respondenten hebben zich in hun loopbaan intensief beziggehouden met geautomatiseerd vervoer, hetzij via academisch onderzoek, beleidsimplementatie of strategische visievorming. Sommigen beschikken ook over internationale ervaring of waren betrokken bij pilootprojecten, wat waardevol is om het onderwerp niet louter theoretisch maar ook praktisch te kunnen benaderen.

Hoewel de empirische basis met vier interviews relatief beperkt is, werd gestreefd naar diepgang en diversiteit in de gesprekken. Door bewust te kiezen voor respondenten met verschillende achtergronden en rollen binnen het mobiliteitsveld, kon een rijk en genuanceerd beeld ontstaan van de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer.

3.2 Introductie respondenten

3.2.1 Jingjun Li

Jingjun Li is momenteel postdoctoraal onderzoeker aan het Transportation Digital Twin Lab. Voorafgaand aan zijn huidige positie voltooide hij zijn doctoraat aan de Vrije Universiteit Brussel, waar hij onderzoek deed naar de impact van gedeelde autonome voertuigen op het mobiliteitsnetwerk van Brazilië, met behulp van transportsimulaties. Zijn academische achtergrond richt zich sterk op de toepassing en simulatie van geautomatiseerde voertuigen in stedelijke netwerken. Naast zijn academische werk deed hij ook een studiereis naar de Verenigde Staten om de ontwikkelingen en regelgeving rond autonome voertuigen bij bedrijven zoals Waymo en Cruise

van dichtbij te bestuderen. Deze combinatie van theoretische kennis en praktijkervaring geeft hem een breed perspectief op de uitdagingen en kansen rond autonome voertuigen.

3.2.2 Tim Asperges

Tim Asperges is adviseur mobiliteit bij de stad Leuven en heeft meer dan tien jaar ervaring in het uittekenen van strategisch mobiliteitsbeleid. Vanuit zijn achtergrond in ruimtelijke planning en bouwkunde combineert hij technische kennis met beleidsmatige inzichten. Binnen zijn huidige rol richt hij zich vooral op toekomstgerichte mobiliteitsoplossingen, waarbij de komst van geautomatiseerde voertuigen een belangrijk aandachtspunt vormt. Leuven is betrokken bij verschillende Europese projecten rond autonoom vervoer, en Tim houdt zich actief bezig met de voorbereiding van de integratie ervan in de stad. Zijn visie legt sterk de nadruk op het zorgvuldig reguleren van autonome voertuigen om publieke ruimte, veiligheid en duurzaamheid te bewaken. Door zijn ervaring op lokaal beleidsniveau brengt hij een waardevol perspectief op de praktische uitdagingen en kansen die autonome mobiliteit met zich meebrengt.

3.2.3 Evy Rombaut

Evy Rombaut is onderzoeker en professor aan de Vrije Universiteit Brussel, waar ze zich specialiseert in de socio-economische impact van autonome voertuigen. Na haar academische opleiding in de wiskunde behaalde ze haar doctoraat met een focus op kwantitatieve modellen voor economische toepassingen. Sinds 2019 werkt ze intensief rond autonoom vervoer, onder meer als projectleider van een vijfjarig onderzoeksproject en als betrokken onderzoeker in verschillende Europese initiatieven. Haar expertise richt zich vooral op de maatschappelijke, ruimtelijke en economische effecten van geautomatiseerde voertuigen. Vanuit haar onderzoeksachtergrond kijkt ze het thema niet alleen technologisch, maar vooral vanuit de bredere impact op mobiliteit, duurzaamheid en beleidsvorming.

3.2.4 Bert van Wee

Bert van Wee is emeritus hoogleraar Transportbeleid aan de Technische Universiteit Delft. Tijdens zijn academische carrière richtte hij zich voornamelijk op lange termijn mobiliteitsvraagstukken, waarbij geautomatiseerde voertuigen een van de vele thema's vormden. Hij deed onder meer onderzoek naar de maatschappelijke implicaties van autonome voertuigen en coördineerde een boek over dit onderwerp binnen de serie *Advances in Transport Policy and Planning*. Zijn expertise ligt in de brede beleidsmatige en maatschappelijke impact van technologieën zoals zelfrijdende voertuigen. Vanuit zijn ervaring benadrukt hij vooral de strategische en ethische uitdagingen die samengaan met de introductie van autonome mobiliteit.

3.3 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten van de afgenomen interviews besproken. De gesprekken bieden inzicht in de mogelijkheden, toepassingen, en uitdagingen die verbonden zijn aan de invoering van deze technologie in het personenvervoer. De bevindingen zijn gestructureerd aan de hand van de hoofdthema's die in de interviewleidraad zijn uitgewerkt. Per thema wordt ingegaan op de belangrijkste inzichten die uit de gesprekken naar voren zijn gekomen.

3.3.1 Definitie en toepassingen van geautomatiseerde voertuigen

Geautomatiseerde voertuigen zijn vervoermiddelen waarbij de controle over rijtaken gedeeltelijk of volledig wordt overgenomen door technologie. De mate van automatisering wordt meestal aangeduid aan de hand van de SAE-niveaus, variërend van niveau 0, waarbij volledige menselijke controle vereist is, tot niveau 5, waarbij voertuigen volledig zelfstandig kunnen functioneren zonder menselijke tussenkomst. In de huidige ontwikkeling ligt de nadruk voornamelijk op voertuigen die opereren binnen specifieke omstandigheden zoals snelwegen of afgesloten gebieden.

Binnen het personenvervoer worden gedeelde autonome voertuigen beschouwd als de meest veelbelovende toepassing. Shuttles en robotaxi's die flexibel inspelen op de vervoersvraag kunnen het aantal privévoertuigen verminderen en bijdragen aan een efficiënter gebruik van vervoersnetwerken. In landelijke en suburbane gebieden, waar traditioneel openbaar vervoer moeilijk rendabel te maken is, bieden autonome voertuigen een oplossing om bereikbaarheid te verbeteren zonder hoge exploitatiekosten.

De eerste brede toepassing van autonome voertuigen wordt verwacht in sectoren zoals de transport- en logistieke industrie en in gedeeld stedelijk vervoer. In regio's zoals de Verenigde Staten en China wordt autonome technologie al op commerciële schaal ingezet, terwijl in Europa de ontwikkeling trager verloopt door strengere reguleringen en een voorzichtiger marktbenadering.

Voordelen van autonome voertuigen ten opzichte van conventionele voertuigen liggen vooral op het vlak van verkeersveiligheid, duurzaamheid en flexibiliteit. Door de eliminatie van menselijke fouten kan het aantal verkeersincidenten afnemen. Daarnaast maken autonome voertuigen efficiëntere ritplanning mogelijk, waardoor energieverbruik kan dalen en stedelijke congestie kan verminderen als gedeeld gebruik de norm wordt.

"Vooral het gedeelde gebruik van autonome voertuigen biedt kansen om mobiliteit efficiënter en duurzamer te maken." (Jingjun Li, Postdoctoraal Onderzoeker)

3.3.2 Impact op ruimtelijke organisatie en infrastructuur

De invoering van geautomatiseerde voertuigen zal naar verwachting belangrijke veranderingen teweegbrengen in de manier waarop steden en vervoersnetwerken zijn georganiseerd. Een van de

opvallendste effecten is de mogelijkheid om de ruimte die nu nodig is voor parkeren aanzienlijk terug te dringen. Doordat autonome voertuigen efficiënter kunnen circuleren en vaker gedeeld worden, kunnen veel parkeerplaatsen verdwijnen, vooral in stedelijke gebieden waar ruimte schaars is. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om publieke ruimte anders te benutten, bijvoorbeeld voor groene zones, ontmoetingsplaatsen of fiets- en wandelinfrastructuur.

Naast het verminderen van parkeerdruk, kunnen autonome voertuigen ook indirect bijdragen aan het hertekenen van stedelijke netwerken. Het wordt mogelijk om een flexibelere organisatie van het openbaar domein te realiseren, waarbij bepaalde straten of zones op specifieke tijdstippen verschillende functies kunnen krijgen. In de ochtendspits kan een straat bijvoorbeeld uitsluitend toegankelijk zijn voor gedeelde voertuigen, terwijl dezelfde straat 's avonds beschikbaar kan zijn voor evenementen of markten.

Toch brengt deze evolutie ook risico's met zich mee. Autonome voertuigen maken verplaatsingen makkelijker en comfortabeler, waardoor het aantrekkelijker wordt om verder van de stad te gaan wonen. Dit kan leiden tot een toename van suburbane ontwikkelingen, waarbij steden verder uitdijen en open ruimte onder druk komt te staan. Zonder duidelijke ruimtelijke sturing bestaat het gevaar dat urban sprawl toeneemt, met negatieve gevolgen voor duurzaamheid en mobiliteit.

In de overgangsperiode waarin zowel autonome als traditionele voertuigen actief zijn, zullen steden waarschijnlijk selectieve keuzes moeten maken. Niet elke straat zal meteen geschikt zijn voor autonome voertuigen. Er kan een onderscheid ontstaan tussen straten en netwerken die gericht zijn op snelle, geautomatiseerde mobiliteit en zones waar menselijke interactie en langzaam verkeer centraal blijven staan. Volledige heraanleg van steden wordt niet als noodzakelijk gezien, maar wel gerichte ingrepen zoals het creëren van specifieke laad- en loszones voor autonome shuttles, aparte rijstroken of dynamisch ingerichte straten die zich aanpassen aan het moment van de dag.

"De stad moet zich niet aanpassen aan autonome voertuigen, maar omgekeerd." (Bert van Wee, Emeritus Hoogleraar Transportbeleid TU Delft)

3.3.3 Milieu-impact en duurzaamheid

De introductie van geautomatiseerde voertuigen kan zowel positieve als negatieve gevolgen hebben voor het milieu, afhankelijk van hoe deze technologie zich ontwikkelt en wordt ingezet. Wanneer autonome voertuigen elektrisch aangedreven zijn en ingezet worden in gedeelde mobiliteitsmodellen, ontstaat de mogelijkheid om de uitstoot van broeikasgassen aanzienlijk te verminderen. Elektrificatie en gedeeld gebruik worden gezien als twee sleutelfactoren om de milieuvoordelen maximaal te benutten.

Het gebruik van gedeelde autonome voertuigen kan leiden tot een efficiënter vervoerssysteem waarbij minder voertuigen nodig zijn om dezelfde mobiliteitsvraag te bedienen. Dit kan niet alleen de congestie verminderen, maar ook het totale energieverbruik binnen steden verlagen. Een hogere

bezettingsgraad en een betere benutting van voertuigen dragen bij aan een lagere uitstoot per reiziger.

Toch werd ook benadrukt dat autonome voertuigen niet automatisch een positieve impact zullen hebben op duurzaamheid. Wanneer individueel bezit van autonome voertuigen de norm blijft en de technologie vooral het reizen comfortabeler en goedkoper maakt, kan het totaal aantal voertuigkilometers juist toenemen. Hierdoor stijgt het energieverbruik en kan de luchtkwaliteit verslechteren, vooral in stedelijke gebieden. Autonome voertuigen zouden het woon-werkverkeer kunnen verlengen doordat mensen bereid zijn om grotere afstanden af te leggen terwijl ze onderweg andere activiteiten uitvoeren.

Naast het gebruik zelf moet ook de volledige levenscyclus van autonome voertuigen in rekening worden gebracht. De productie van elektrische batterijen, sensoren en geavanceerde software vereist aanzienlijke hoeveelheden energie en grondstoffen. Er wordt gewezen op het belang van verantwoorde productieprocessen en recyclingmethoden om de milieubelasting te beperken.

De uiteindelijke milieu-impact van autonome voertuigen hangt dus sterk af van beleidskeuzes. Stimuleringsmaatregelen voor gedeeld gebruik, elektrificatie en regulering van langeafstandsverplaatsingen kunnen bepalend zijn voor het realiseren van duurzaamheidswinst.

"Een volledige duurzaamheidsevaluatie moet ook de productie en recyclage van voertuigen meenemen." (Evy Rombaut, Onderzoeker en Professor VUB)

3.3.4 Veiligheidsgevoel en ongevallen

Autonome voertuigen bieden belangrijke mogelijkheden om de verkeersveiligheid te verbeteren. Doordat menselijke fouten, zoals rijden onder invloed, afleiding of inschattingfouten, volledig worden uitgeschakeld, kan het aantal ongevallen aanzienlijk dalen. Voertuigen die autonoom opereren houden zich strikt aan de verkeersregels en passen hun snelheid en gedrag aan de omstandigheden aan, zonder beïnvloeding door menselijke emoties of onoplettendheid.

Ondanks deze voordelen is het veiligheidsgevoel van gebruikers en andere weggebruikers niet vanzelfsprekend positief. Veel mensen ervaren minder vertrouwen in situaties waarin ze de controle niet zelf in handen hebben. De afwezigheid van een menselijke bestuurder kan leiden tot gevoelens van onzekerheid, vooral in onbekende verkeerssituaties of bij onverwachte manoeuvres van andere weggebruikers.

Een van de grootste risico's ligt in de overgangsperiode waarin autonome en conventionele voertuigen samen het verkeer delen. Bestuurders moeten in systemen van niveau 3 bijvoorbeeld nog steeds de controle kunnen overnemen wanneer het voertuig daarom vraagt. Dit kan gevaarlijke situaties opleveren als bestuurders onvoldoende alert zijn of te laat reageren. Daarnaast vormen interacties tussen autonome voertuigen en kwetsbare weggebruikers, zoals voetgangers en fietsers,

een aandachtspunt. Hoewel autonome voertuigen ontworpen worden om zeer voorzichtig te reageren, kunnen onverwachte gedragingen van mensen alsnog leiden tot gevaarlijke situaties.

Er zijn reeds enkele bekende incidenten waarbij autonome voertuigen betrokken waren in gevaarlijke situaties, vaak doordat het systeem menselijke gedragingen niet correct inschatte. Voorbeelden zijn voertuigen die noodstops maken voor kleine obstakels zoals plastic zakken, of ongelukken veroorzaakt door onvoorziene menselijke fouten in de omgeving van het voertuig.

Om de veiligheid te verbeteren zullen technologische verbeteringen moeten worden gecombineerd met duidelijke beleidsmaatregelen. Denk aan het beperken van gebruiksscenario's in complexe omgevingen, het instellen van aparte rijzones voor autonome voertuigen, en het opleggen van strikte eisen aan noodovernameprocedures. Een geleidelijke en gecontroleerde introductie, waarbij ervaringen worden opgedaan en systemen verder kunnen worden verfijnd, wordt gezien als essentieel om de veiligheid te waarborgen.

"De overgangsfase waarin mensen opnieuw de controle moeten overnemen, is het grootste veiligheidsrisico." (Bert van Wee, Emeritus Hoogleraar Transportbeleid TU Delft)

3.3.5 Regelgevende uitdagingen

De invoering van geautomatiseerde voertuigen brengt aanzienlijke uitdagingen met zich mee op het vlak van regelgeving. Op dit moment zijn veel wettelijke kaders nog niet aangepast aan situaties waarin voertuigen zonder menselijke bestuurder deelnemen aan het verkeer. Een belangrijk knelpunt hierbij is de vraag naar aansprakelijkheid bij ongevallen. Wanneer een autonoom voertuig betrokken raakt bij een incident, moet duidelijk zijn wie juridisch verantwoordelijk is: de eigenaar van het voertuig, de fabrikant, of de softwareontwikkelaar.

Er is daarnaast nog veel onduidelijkheid over de voorwaarden waaronder autonome voertuigen mogen opereren op de openbare weg. Criteria zoals minimale veiligheidseisen, noodzakelijke tests en certificeringen zijn in veel landen nog volop in ontwikkeling. Door het ontbreken van een duidelijk en uniform kader ontstaat er onzekerheid voor producenten, exploitanten en beleidsmakers.

Internationale harmonisatie van regelgeving wordt gezien als essentieel om de markttoegang van autonome voertuigen te vergemakkelijken. Wanneer regels sterk verschillen per land, wordt het voor fabrikanten ingewikkeld en kostbaar om voertuigen internationaal te implementeren. Vooral in Europa, waar grenzen tussen landen vlot overschreden worden, vormt dit een belangrijke belemmering voor de opschaling van AV-technologie.

Op regionaal vlak wordt gewerkt aan initiatieven om deze uitdagingen aan te pakken. Zo werd in Vlaanderen een taskforce opgericht die zich bezighoudt met het opstellen van een kader voor autonoom rijden. Hierin wordt gezocht naar oplossingen om veiligheidscriteria, vergunningverlening en operationele richtlijnen op elkaar af te stemmen. Toch bevinden veel van deze processen zich nog

in de voorbereidende fase, en zijn er nog geen breed gedragen afspraken of wetgeving volledig in werking getreden.

De snelheid waarmee regelgeving wordt aangepast zal bepalend zijn voor de mate waarin autonome voertuigen in de praktijk ingang kunnen vinden. Zonder een heldere juridische basis blijft het risico bestaan dat technologische vooruitgang wordt afgeremd of dat het vertrouwen van gebruikers en marktspelers onvoldoende wordt opgebouwd.

"Op dit moment moet de federale overheid nog telkens een uitzondering verlenen op de wegcode om autonome voertuigen op de openbare weg toe te laten." (Tim Asperges, Adviseur Mobiliteit Stad Leuven)

3.3.6 Psychologische en sociale acceptatie

De maatschappelijke acceptatie van geautomatiseerde voertuigen wordt gezien als een van de belangrijkste factoren voor een succesvolle implementatie. Ondanks de technische vooruitgang heerst er nog veel terughoudendheid onder het brede publiek. Vooral de afwezigheid van een menselijke bestuurder roept wantrouwen op, zeker in situaties waarin onverwachte verkeersdynamieken optreden.

Ervaring met autonome voertuigen blijkt een doorslaggevende rol te spelen in het opbouwen van vertrouwen. Personen die al eens hebben meegereden in een autonoom voertuig, blijken veel positiever te zijn dan mensen die enkel theoretische kennis over de technologie hebben. Kennismaking via proefprojecten en demonstraties kan daarom een krachtig instrument zijn om de publieke acceptatie te vergroten.

Verschillen tussen bevolkingsgroepen zijn duidelijk aanwezig. Jongeren en hoger opgeleiden staan over het algemeen meer open voor het gebruik van autonome voertuigen dan ouderen en lager opgeleiden. Technische affiniteit en bereidheid om nieuwe technologieën te omarmen spelen hierin een belangrijke rol. Mensen die momenteel vaak gebruik maken van openbaar vervoer of gedeelde mobiliteit lijken sneller bereid om over te stappen op autonome vervoersdiensten.

Om de maatschappelijke acceptatie te bevorderen, worden verschillende strategieën als noodzakelijk beschouwd. Sensibilisatiecampagnes kunnen helpen om mythes en verkeerde percepties over autonome voertuigen weg te nemen. Open en eerlijke communicatie over zowel de voordelen als de beperkingen van de technologie is cruciaal om realistische verwachtingen te scheppen. Bovendien wordt het belangrijk geacht om te benadrukken dat nul ongevallen niet haalbaar is, en dat ook autonome systemen fouten kunnen maken, zij het minder frequent dan menselijke bestuurders.

Sociale acceptatie zal verder afhangen van het succes van de eerste implementaties. Wanneer gebruikers positieve ervaringen opdoen met autonome voertuigen, bijvoorbeeld via goed functionerende pilootprojecten, kan het vertrouwen in bredere toepassingen sneller groeien.

"Het brede publiek moet via ervaring en communicatie overtuigd worden van de voordelen van autonome voertuigen." (Evy Rombaut, Onderzoeker en Professor VUB)

3.3.7 Ethische en maatschappelijke gevolgen

De introductie van geautomatiseerde voertuigen (AV's) roept naast technologische en beleidsmatige vragen ook belangrijke ethische en maatschappelijke kwesties op. Een van de meest besproken thema's is de besluitvorming bij ongevallen. In situaties waarin een ongeval onvermijdelijk is, rijst de vraag wie of wat bepaalt welk gedrag het voertuig stelt. Moet een AV de bestuurder beschermen ten koste van een voetganger? Wat als er meerdere slachtoffers dreigen te vallen? Deze zogenaamde "trolley problem"-achtige dilemma's zijn theoretisch van aard, maar roepen fundamentele vragen op over verantwoordelijkheid, programmeerethiek en aansprakelijkheid. Tegelijk wordt erkend dat zulke situaties zeldzaam zijn, en dat AV's in de praktijk net veel ongevallen kunnen voorkomen omdat ze niet afgeleid, vermoeid of onder invloed zijn.

Daarnaast heeft de technologie ook implicaties voor werkgelegenheid. In sectoren zoals taxivervoer, openbaar vervoer en logistiek dreigt op termijn een verschuiving of zelfs verlies van jobs. Toch wordt in interviews benadrukt dat deze evolutie gradueel zal verlopen, en dat er tegelijk nieuwe functies zullen ontstaan, bijvoorbeeld rond databaseer, onderhoud of operationele aansturing van AV-systemen. Dit opent de deur naar een breder debat over herstructurering van arbeidsmarkten en de nood aan bijscholing.

Ook sociale ongelijkheid is een aandachtspunt. Indien AV-diensten enkel beschikbaar zijn voor wie zich ze kan veroorloven, bestaat het risico op een nieuwe digitale kloof. Tegelijk kunnen AV's net ook kansen bieden om mobiliteit toegankelijker te maken voor mensen met een beperking of ouderen. Voorwaarde is dan wel dat overheden sturen op inclusieve toepassingen en niet louter de markt laten bepalen.

Tot slot is maatschappelijke aanvaarding nauw verbonden met deze ethische vragen. Gebrek aan transparantie over hoe AV's beslissingen nemen, kan leiden tot wantrouwen. Open communicatie, duidelijke regelgeving en het betrekken van burgers in de discussie over ethische keuzes zijn daarom essentieel voor een succesvolle integratie van deze technologie.

"Wat moeten zelfrijdende auto's doen als die rechtdoor gaat en er komen vier inzittenden om, of ze wijken uit en rijden een onschuldige voetganger aan? Dat is nog wel een dilemma dat moet worden beslecht: wat stelt de overheid voor eisen aan de software van zelfrijdende voertuigen voor bijzondere omstandigheden?" (Bert van Wee, Emeritus Hoogleraar Transportbeleid TU Delft)

3.3.8 Toekomstvisie

Op langere termijn wordt verwacht dat autonome voertuigen een aanzienlijke impact zullen hebben op het mobiliteitssysteem, al zal de snelheid van implementatie sterk afhangen van technologische, maatschappelijke en beleidsmatige ontwikkelingen. Vooral in gecontroleerde omgevingen zoals snelwegen en afgebakende corridors wordt binnen tien tot twintig jaar een bredere inzet van autonome voertuigen als haalbaar beschouwd. In complexe stedelijke gebieden zal de volledige integratie vermoedelijk langer op zich laten wachten, door de grotere technische uitdagingen en de noodzaak om samen te werken met andere weggebruikers zoals voetgangers en fietsers.

Autonome voertuigen kunnen bijdragen aan een meer duurzame en efficiënte mobiliteit, mits de technologie op een verstandige manier wordt ingezet. Gedeeld gebruik en elektrificatie worden gezien als belangrijke voorwaarden om de voordelen van autonome mobiliteit optimaal te benutten. Wanneer daarentegen individueel autobezit blijft domineren, kan het aantal verplaatsingen toenemen, wat negatieve effecten op congestie en milieu met zich meebrengt.

Technologische ontwikkelingen zoals verbeterde sensoren, robuustere software en geavanceerde voertuigcommunicatie zijn essentieel om de prestaties van autonome systemen verder te verfijnen. Tegelijkertijd moeten beleidsmatige kaders worden aangepast om nieuwe vormen van aansprakelijkheid, infrastructuurbeheer en mobiliteitsdiensten te ondersteunen.

Een succesvolle transitie naar autonome mobiliteit zal afhangen van de mate waarin overheid, industrie en samenleving gezamenlijk investeren in kennisopbouw, regelgeving, testprojecten en sensibilisatie. Door stapsgewijze invoering, met aandacht voor veiligheid, duurzaamheid en inclusiviteit, kan de potentie van autonome voertuigen worden benut zonder dat belangrijke maatschappelijke waarden onder druk komen te staan.

"De impact van autonome voertuigen zal uiteindelijk bepaald worden door hoe wij ze inzetten en reguleren." (Tim Asperges, Adviseur Mobiliteit Stad Leuven)

4. Discussie

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen uit de literatuurstudie en de empirische studie met elkaar vergeleken. Er wordt nagegaan in hoeverre de inzichten overeenkomen of van elkaar verschillen, en welke nieuwe inzichten hieruit voortkomen. Vervolgens wordt kritisch gereflecteerd op de mogelijkheden en uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen, en worden de beperkingen van het onderzoek besproken.

4.1 Vergelijking van empirische resultaten met literatuur

De resultaten uit de interviews tonen veel overeenkomsten met de inzichten die naar voren kwamen uit de literatuurstudie. Zowel de literatuur als de gesprekken benadrukken dat geautomatiseerde voertuigen aanzienlijke mogelijkheden bieden op het vlak van verkeersveiligheid, efficiëntie en duurzaamheid, op voorwaarde dat de implementatie gepaard gaat met elektrificatie en gedeeld gebruik. In de literatuur werd bijvoorbeeld herhaaldelijk aangegeven dat autonome voertuigen het potentieel hebben om het aantal verkeersslachtoffers sterk te verminderen door het uitsluiten van menselijke fouten (Fagnant & Kockelman, 2015). Dit komt overeen met de interviews, waarin herhaald werd benadrukt dat autonome voertuigen sneller en nauwkeuriger kunnen reageren dan menselijke bestuurders.

Ook op het gebied van ruimtelijke organisatie is er een duidelijke overeenstemming. In de literatuurstudie werd gesteld dat autonome voertuigen de vraag naar parkeerruimte kunnen verminderen en zo ruimte vrijmaken voor andere stedelijke functies zoals groenvoorzieningen of woonontwikkeling (Nourinejad et al., 2018). Deze visie werd bevestigd in de interviews, waar het vrijmaken van ruimte door minder parkeerbehoefte als een van de belangrijkste voordelen naar voren kwam. Tegelijkertijd werd ook in beide bronnen gewezen op het risico van urban sprawl, waarbij betere bereikbaarheid leidt tot verdere suburbanisatie (Soteropoulos et al., 2018).

Op vlak van milieu-impact werd zowel in de literatuur als tijdens de interviews benadrukt dat de duurzaamheidseffecten van autonome voertuigen sterk afhangen van het gebruiksscenario. Waar studies zoals die van Greenblatt en Shaheen (2015) optimistische scenario's schetsen over CO₂-reductie bij gedeeld en elektrisch gebruik, werd in de interviews benadrukt dat bij individueel autobezit de milieuvoordelen grotendeels verloren kunnen gaan. De waarschuwing voor een rebound-effect, waarbij de totale voertuigkilometers toenemen door lagere gebruikskosten en meer reiscomfort, werd zowel in de literatuur als in de interviews genoemd.

Wat regelgeving betreft, komt naar voren dat de literatuur veel aandacht besteedt aan de noodzaak voor aangepaste aansprakelijkheidsregels en internationale harmonisatie (Taeihagh & Lim, 2018). Ook in de interviews werd bevestigd dat het gebrek aan een duidelijk juridisch kader één van de grootste hindernissen vormt voor een brede uitrol van autonome voertuigen. De huidige situatie in Vlaanderen, waarin uitzonderingen op de wegcode nodig zijn om pilootprojecten toe te laten, sluit aan bij de bredere problematiek die in de literatuur beschreven wordt.

Op het vlak van maatschappelijke acceptatie zijn de bevindingen eveneens in lijn. Zowel de literatuur als de interviews benadrukken dat vertrouwen in de technologie essentieel is, en dat directe ervaring met autonome voertuigen de bereidheid tot gebruik sterk verhoogt (Milakis et al., 2018). Tegelijk werd ook gewezen op verschillen tussen bevolkingsgroepen, waarbij jongeren en hoger opgeleiden doorgaans sneller openstaan voor nieuwe mobiliteitsvormen.

Hoewel de algemene tendens tussen literatuur en interviews grotendeels overeenkomt, zijn er ook enkele nuances. In de interviews werd bijvoorbeeld iets meer nadruk gelegd op het belang van lokale beleidsinitiatieven en het adaptieve vermogen van steden om hun infrastructuur stap voor stap aan te passen. Dit pragmatische perspectief kwam in de literatuur minder expliciet aan bod, waar vaker grootschalige scenario's werden geschetst.

4.2 Synthese en integratie van literatuur en praktijk

Hoewel in de vorige sectie per thema een vergelijking werd gemaakt tussen de literatuur en de inzichten uit de interviews, is het ook belangrijk om stil te staan bij de manier waarop beide perspectieven elkaar aanvullen of juist uitdagen. De literatuur biedt vaak een theoretisch of toekomstgericht kader, terwijl de interviews meer gefocust zijn op de praktische haalbaarheid en beleidsmatige context.

Zo wordt in de literatuur frequent uitgegaan van grootschalige, hypothetische scenario's waarbij het volledige wagenpark autonoom en gedeeld functioneert (bv. Heilig et al., 2017), maar in de praktijk nuanceren experts dit enthousiasme door te wijzen op technologische en maatschappelijke barrières. De interviews benadrukken ook sterk het belang van lokale context, zoals het adaptief vermogen van Vlaamse steden, iets wat in internationale literatuur vaak onderbelicht blijft.

Verder vullen de interviews ook tekortkomingen aan die in de literatuur beperkt aan bod kwamen, zoals ethische dilemma's, de rol van perceptie en wantrouwen bij het grote publiek, of de politieke prioritering van autonome voertuigen binnen bredere mobiliteitsstrategieën. Zo stelt Bert van Wee expliciet dat maatschappelijke acceptatie sterk afhankelijk zal zijn van transparant beleid, duidelijke aansprakelijkheidsregels en het vertrouwen in aanbieders, wat aansluit bij maar ook verder gaat dan het theoretisch vertrouwen dat vaak in wetenschappelijke modellen verondersteld wordt (Milakis et al., 2018).

Door beide bronnen samen te brengen ontstaat een realistischer en completer beeld van de kansen en risico's die gepaard gaan met geautomatiseerd personenvervoer. Deze integratie laat toe om kritischer na te denken over wat wenselijk is, wat mogelijk is, en hoe beleid deze twee dichter bij elkaar kan brengen.

4.3 Reflectie op mogelijkheden van geautomatiseerde voertuigen

Uit zowel de literatuurstudie als de interviews komt naar voren dat geautomatiseerde voertuigen aanzienlijke kansen bieden voor de toekomstige organisatie van personenvervoer. Een van de belangrijkste mogelijkheden ligt in het verbeteren van de verkeersveiligheid. Doordat menselijke fouten worden uitgesloten, kan het aantal ongevallen sterk dalen, wat niet alleen levens kan redden maar ook maatschappelijke kosten kan verlagen. De literatuur geeft aan dat een daling tot 70% in verkeersongevallen haalbaar is bij een brede uitrol van niveau 4 en 5 voertuigen (Fagnant & Kockelman, 2015). Ook de geïnterviewde experts bevestigden dat AV's in theorie veel veiliger kunnen zijn dan conventionele voertuigen.

Een andere belangrijke mogelijkheid is de optimalisatie van stedelijke ruimte. Wanneer autonome voertuigen gedeeld worden ingezet, kan de noodzaak voor parkeergelegenheid in stadscentra drastisch dalen. Dit creëert kansen om openbare ruimte opnieuw in te richten, bijvoorbeeld voor voetgangers, fietsers of groene zones. In de interviews werd benadrukt dat dit niet alleen de leefbaarheid van steden kan verbeteren, maar ook bijdraagt aan een duurzamere stedelijke ontwikkeling.

Daarnaast bieden AV's de mogelijkheid om de toegankelijkheid van mobiliteit te vergroten. Voor groepen die vandaag beperkt mobiel zijn, zoals ouderen of mensen met een beperking, kunnen autonome voertuigen nieuwe vervoersopties openen. Zeker in gebieden waar openbaar vervoer schaars is, kunnen flexibele autonome shuttles een belangrijk aanvullend vervoersaanbod vormen.

Ook op milieugebied zijn er kansen. Door optimalisatie van rijgedrag, elektrificatie en gedeeld gebruik kunnen AV's het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen verminderen. Studies zoals die van Greenblatt en Shaheen (2015) tonen aan dat vooral gedeelde autonome voertuigen in combinatie met elektrische aandrijving een substantiële CO₂-reductie kunnen realiseren. De experts die werden geïnterviewd bevestigden dat AV-technologie, mits correct ingezet, een belangrijke rol kan spelen in de transitie naar duurzamere mobiliteit.

Toch werd in de gesprekken duidelijk gemaakt dat deze voordelen niet vanzelf gerealiseerd worden. Ze zijn afhankelijk van beleidskeuzes, technologische vooruitgang en de mate waarin gedeeld gebruik wordt gestimuleerd. Zonder gerichte sturing bestaat het risico dat individuele autobezit blijft domineren, waardoor veel van de potentiële voordelen verloren gaan.

4.4 Reflectie op uitdagingen van geautomatiseerde voertuigen

Hoewel geautomatiseerde voertuigen duidelijke mogelijkheden bieden, brengen ze ook aanzienlijke uitdagingen met zich mee. Zowel uit de literatuur als uit de interviews blijkt dat een van de grootste knelpunten ligt in de maatschappelijke acceptatie. Veel mensen ervaren nog steeds wantrouwen tegenover autonome voertuigen, vooral omdat ze de controle over het rijden uit handen moeten

geven. Dit gebrek aan vertrouwen vormt een belangrijke barrière voor de brede invoering van AV's, zeker in stedelijke gebieden waar het verkeer complex en onvoorspelbaar is.

Een andere grote uitdaging betreft de ruimtelijke impact. Hoewel autonome voertuigen kansen bieden om ruimte efficiënter te gebruiken, werd ook benadrukt dat ze het risico op urban sprawl kunnen vergroten. Doordat verplaatsingen comfortabeler en minder belastend worden, kunnen mensen geneigd zijn verder van hun werk of stedelijke voorzieningen te gaan wonen. Zonder duidelijke ruimtelijke beleidsmaatregelen kan dit leiden tot meer versnippering van open ruimte en een grotere druk op infrastructuur.

Op milieuvlak blijft de impact van AV's onzeker. De literatuur en de interviews maken duidelijk dat de milieuwinst sterk afhangt van het gebruiksmodel. Bij individueel bezit en frequent gebruik voor lange afstanden kan het totaal aantal voertuigkilometers toenemen, wat de voordelen van elektrificatie deels kan neutraliseren. Bovendien werd gewezen op de aanzienlijke milieu-impact van de productie van batterijen en sensortechnologie, iets wat vaak onderbelicht blijft in populaire discussies rond duurzaamheid.

Op regelgevend vlak vormt het ontbreken van een uniform en helder juridisch kader een belangrijke belemmering. Zeker voor situaties rond aansprakelijkheid bij ongevallen is er vandaag nog veel onduidelijkheid. Zowel de literatuur als de gesprekken maakten duidelijk dat een gebrek aan afgestemde regelgeving, zowel op nationaal als internationaal niveau, het tempo van implementatie kan vertragen. Initiatieven zoals de Vlaamse taskforce autonoom rijden zijn belangrijke eerste stappen, maar grootschalige uitrol zal pas mogelijk zijn als juridische onzekerheden structureel worden aangepakt.

Tot slot werd benadrukt dat technologische beperkingen ook niet onderschat mogen worden. Hoewel autonome voertuigen grote vooruitgang hebben geboekt, blijven er uitdagingen bestaan in complexe verkeerssituaties, bij slechte weersomstandigheden en bij interacties met kwetsbare weggebruikers zoals voetgangers en fietsers. Zonder verdere technologische verfijning kan de veiligheid en betrouwbaarheid van autonome voertuigen onvoldoende gegarandeerd worden.

4.5 Kritische beschouwing van het onderzoek

Hoewel deze masterthesis een breed beeld biedt van de mogelijkheden en uitdagingen rond geautomatiseerde voertuigen voor personenvervoer, zijn er enkele beperkingen waarmee rekening gehouden moet worden. Een eerste beperking ligt in de omvang van de empirische studie. Er werden vier interviews afgenomen met deskundigen uit verschillende deelgebieden, wat een divers beeld opleverde. Maar door het beperkte aantal respondenten blijft de representativiteit van de resultaten beperkt. Een grotere groep met verschillende achtergronden, bijvoorbeeld ook mensen uit de industrie of beleidsmakers op federaal niveau, had nog diepere inzichten kunnen opleveren.

Daarnaast is er sprake van een zekere mate van geografische focus. Hoewel de literatuurstudie internationale bronnen gebruikte, richtten de interviews zich voornamelijk op de Europese en Vlaamse context. Hierdoor kunnen sommige bevindingen minder relevant zijn voor andere regio's, zoals de Verenigde Staten of Aziatische landen, waar het beleid rond autonome voertuigen vaak verder gevorderd is of een andere aanpak kent.

Een andere beperking is dat de inzichten uit de interviews tijdsgebonden zijn. De technologische ontwikkelingen rond autonome voertuigen evolueren bijzonder snel, en nieuwe innovaties of wetswijzigingen kunnen de situatie op korte termijn grondig veranderen. De resultaten en interpretaties in deze thesis zijn dus in zekere zin een momentopname.

Tot slot kan er ook een zekere bias aanwezig zijn in de literatuur en de interviews. Zowel in academische studies als bij experts bestaat er soms een sterke focus op de voordelen van autonome voertuigen, terwijl mogelijke negatieve effecten of ethische vraagstukken minder diepgaand worden besproken. Bij het interpreteren van de bevindingen moet dan ook steeds rekening worden gehouden met deze mogelijke vertekeningen.

Voor toekomstig onderzoek zou het waardevol zijn om dieper in te gaan op de maatschappelijke impact van autonome voertuigen in verschillende soorten stedelijke contexten, bijvoorbeeld door casestudies in kleinere steden te vergelijken met grootstedelijke gebieden. Ook longitudinaal onderzoek dat de evolutie van percepties en acceptatie over meerdere jaren volgt, kan belangrijke inzichten opleveren voor beleidsmakers en industrie.

5. Conclusie

Geautomatiseerde voertuigen bieden belangrijke mogelijkheden voor de toekomst van personenvervoer, maar brengen tegelijkertijd ook grote uitdagingen met zich mee. Op basis van de literatuurstudie en de interviews kan geconcludeerd worden dat deze technologie het potentieel heeft om mobiliteit veiliger, duurzamer en efficiënter te maken. Door het uitsluiten van menselijke fouten kan het aantal verkeersongevallen sterk afnemen, en gedeeld gebruik van autonome voertuigen kan zorgen voor een betere benutting van stedelijke ruimte en een verlaging van het aantal voertuigen op de weg. Ook kunnen autonome voertuigen bijdragen aan een duurzamere mobiliteit, mits de overstap naar elektrische aandrijving breed wordt doorgevoerd en individueel autobezit wordt ontmoedigd.

Tegelijkertijd maken de bevindingen duidelijk dat deze voordelen niet vanzelf gerealiseerd zullen worden. Er zijn aanzienlijke uitdagingen op vlak van maatschappelijke acceptatie, regelgeving, ruimtelijke organisatie en milieueffecten. Vooral het gebrek aan een duidelijk juridisch kader en de onzekerheid over aansprakelijkheid vormen een belangrijk struikelblok voor de brede invoering van autonome voertuigen. Daarnaast blijkt dat de impact op het milieu sterk afhankelijk is van hoe de technologie wordt ingezet: bij individueel bezit en verhoogde mobiliteit kunnen de negatieve effecten de potentiële voordelen zelfs overstijgen.

Op de deelvragen van dit onderzoek kan als volgt worden geantwoord: geautomatiseerde voertuigen zijn systemen die rijtaken deels of volledig overnemen, met toepassingen in gedeeld vervoer zoals robotaxi's en autonome shuttles. Hun invloed op stedelijke infrastructuur kan groot zijn, onder andere door het vrijmaken van ruimte die momenteel wordt ingenomen door parkeerplaatsen. Milieueffecten zijn dubbel: er zijn kansen voor emissiereductie, maar ook risico's op toegenomen energieverbruik door meer voertuigkilometers. Tot slot blijkt dat de belangrijkste regelgevende uitdagingen liggen bij het opstellen van aangepaste aansprakelijkheidsregels en de nood aan internationale harmonisatie.

Over het geheel genomen maken de resultaten duidelijk dat geautomatiseerde voertuigen niet los kunnen worden gezien van bredere maatschappelijke en beleidsmatige ontwikkelingen. De technologische vooruitgang biedt veel kansen, maar zonder gerichte sturing en samenwerking tussen overheden, industrie en samenleving zullen deze kansen slechts gedeeltelijk benut worden. Verdere praktijkgerichte studies, proefprojecten en het volgen van evoluties in regelgeving zullen essentieel zijn om een duurzame en inclusieve implementatie van autonome voertuigen in het personenvervoer mogelijk te maken.

Referentielijst

- Acheampong, R. A., Cugurullo, F., Gueriau, M., & Dusparic, I. (2021). Can autonomous vehicles enable sustainable mobility in future cities? Insights and policy challenges from user preferences over different urban transport options. *Cities*, 112, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103134>
- Asadi-Shekari, Z., Saadi, I., & Cools, M. (2022). Applying Machine Learning to Explore Feelings about Sharing the Road with Autonomous Vehicles as a Bicyclist or as a Pedestrian. *Sustainability*, 14(3), 1898. <https://doi.org/10.3390/su14031898>
- Beza, A. D., & Zefreh, M. M. (2019). Potential Effects of Automated Vehicles on Road Transportation: A Literature Review. *Transport And Telecommunication Journal*, 20(3), 269–278. <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0023>
- Brodsky, J. S. (2016). Autonomous Vehicle Regulation: How an Uncertain Legal Landscape May Hit The Brakes on Self-Driving Cars. *Berkeley Technology Law Journal*, 31(2), 851. <https://doi.org/10.15779/z38jc5s>
- Broverman, N. (2024). Waymo's driverless cars arrive soon in these Southern cities. *Mashable*. https://mashable.com/article/waymo-driverless-cars-coming-cities?test_uuid=01iI2GpryXngy77uIpA3Y4B&test_variant=a
- Brown, A., Gonder, J., & Repac, B. (2014). An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicles. In *Lecture notes in mobility* (pp. 137–153). https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_13
- Calvert, S. C., Schakel, W. J., & Van Lint, J. W. C. (2017). Will automated vehicles negatively impact traffic flow? *Journal Of Advanced Transportation*, 2017, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2017/3082781>
- Carrese, S., Nigro, M., Patella, S. M., & Toniolo, E. (2019). A preliminary study of the potential impact of autonomous vehicles on residential location in Rome. *Research in Transportation Economics*, 75, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.02.005>
- De Bruyne, J., & Werbrouck, J. (2018). Merging self-driving cars with the law. *Computer Law & Security Review*, 34(5), 1150–1153. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.02.008>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A Policy And Practice*, 77, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>

Gavanas, N., Anastasiadou, K., Nathanail, E., & Basbas, S. (2024). Transport Policy Pathways for Autonomous Road Vehicles to Promote Sustainable Urban Development in the European Union: A Multicriteria Analysis. *Land*, 13(11), 1807. <https://doi.org/10.3390/land13111807>

González-González, E., Nogués, S., & Stead, D. (2019). Automated vehicles and the city of tomorrow: A backcasting approach. *Cities*, 94, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.05.034>

Greenblatt, J. B., & Saxena, S. (2015). Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change*, 5(9), 860–863. <https://doi.org/10.1038/nclimate2685>

Greenblatt, J. B., & Shaheen, S. (2015). Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(3), 74–81. <https://doi.org/10.1007/s40518-015-0038-5>

Gruel, W., & Stanford, J. M. (2016). Assessing the Long-term Effects of Autonomous Vehicles: A Speculative Approach. *Transportation Research Procedia*, 13, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.003>

Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2017). Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region. *Transportation Research Procedia*, 26, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.07.004>

Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Moschou, E., & Kepaptsoglou, K. (2024). Shared autonomous vehicles and agent based models: a review of methods and impacts. *European Transport Research Review*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00644-2>

Kyriakidis, M., De Winter, J. C. F., Stanton, N., Bellet, T., Van Arem, B., Brookhuis, K., Martens, M. H., Bengler, K., Andersson, J., Merat, N., Reed, N., Flament, M., Hagenzieker, M., & Happee, R. (2017). A human factors perspective on automated driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 20(3), 223–249. <https://doi.org/10.1080/1463922x.2017.1293187>

Laan, Z. V., & Sadabadi, K. F. (2017). Operational performance of a congested corridor with lanes dedicated to autonomous vehicle traffic. *International Journal Of Transportation Science And Technology*, 6(1), 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.05.006>

Li, J., Rombaut, E., & Vanhaverbeke, L. (2023). Simulation of Shared Autonomous Vehicles Operations with Relocation Considering External Traffic: Case Study of Brussels. *Procedia Computer Science*, 220, 686–691. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.089>

Martinez, L. M., & Viegas, J. M. (2017). Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: An agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal. *International*

Journal Of Transportation Science And Technology, 6(1), 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.05.005>

Milakis, D., Kroesen, M., & Van Wee, B. (2018). Implications of automated vehicles for accessibility and location choices: Evidence from an expert-based experiment. *Journal Of Transport Geography*, 68, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.03.010>

Milakis, D., Van Arem, B., & Van Wee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal Of Intelligent Transportation Systems*, 21(4), 324–348. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>

Nourinejad, M., Bahrami, S., & Roorda, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. *Transportation Research Part B Methodological*, 109, 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.12.017>

Olayode, I. O., Du, B., Severino, A., Campisi, T., & Alex, F. J. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. *Journal Of Traffic And Transportation Engineering (English Edition)*, 10(6), 1037–1060. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006>

Onat, N. C., Mandouri, J., Kucukvar, M., Sen, B., Abbasi, S. A., Alhajyaseen, W., Kutty, A. A., Jabbar, R., Contestabile, M., & Hamouda, A. M. (2023). Rebound effects undermine carbon footprint reduction potential of autonomous electric vehicles. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41992-2>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Park, J. E., Byun, W., Kim, Y., Ahn, H., & Shin, D. K. (2021). The Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Road Capacity on Urban Road Networks. *Journal Of Advanced Transportation*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/8404951>

Patella, S., Scrucca, F., Asdrubali, F., & Carrese, S. (2019). Carbon Footprint of autonomous vehicles at the urban mobility system level: A traffic simulation-based approach. *Transportation Research Part D Transport And Environment*, 74, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.007>

Shaheen, S., & Bouzaghrane, M. A. (2019). Mobility and Energy Impacts of Shared Automated Vehicles: a Review of Recent Literature. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 6(4), 193–200. <https://doi.org/10.1007/s40518-019-00135-2>

Soteropoulos, A., Berger, M., & Ciari, F. (2018). Impacts of automated vehicles on travel behaviour and land use: an international review of modelling studies. *Transport Reviews*, 39(1), 29–49. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1523253>

Stead, D., & Vaddadi, B. (2019). Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies. *Cities*, 92, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.020>

Taeihagh, A., & Lim, H. S. M. (2018). Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks. *Transport Reviews*, 39(1), 103–128. <https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1494640>

Tengilimoglu, O., Carsten, O., & Wadud, Z. (2022). Implications of automated vehicles for physical road environment: A comprehensive review. *Transportation Research Part E Logistics And Transportation Review*, 169, 102989. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102989>

Wadud, Z., MacKenzie, D., & Leiby, P. (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A Policy And Practice*, 86, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.12.001>

Walker, W. E., & Marchau, V. A. (2017). Dynamic adaptive policymaking for the sustainable city: The case of automated taxis. *International Journal Of Transportation Science And Technology*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.03.004>

Yigitcanlar, T., Wilson, M., & Kamruzzaman, M. (2019). Disruptive Impacts of Automated Driving Systems on the Built Environment and Land Use: An Urban Planner's Perspective. *Journal Of Open Innovation Technology Market And Complexity*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/joitmc5020024>

Bijlagen

Bijlage A: Interviewleidraad

Introductie

- Korte voorstelling van mezelf en het onderzoek.
- Uitleg over het doel van het interview en de relevantie van de inzichten van de respondent.
- Duur van het interview (+- 1 uur).
- Toestemming vragen voor audio-opname.
- Interesse in inzichten, visies en praktijkervaringen van de respondent.

1. Persoonlijke gegevens

- Kunt u uzelf kort voorstellen? (Naam, functie, organisatie)
- Wat is uw professionele ervaring met geautomatiseerde voertuigen?
- In hoeverre heeft uw takenpakket te maken met geautomatiseerde voertuigen?
- Welke aspecten van geautomatiseerde voertuigen komt u tegen in uw professionele carrière?

2. Definitie en toepassingen van geautomatiseerde voertuigen

- Hoe zou u geautomatiseerde voertuigen definiëren binnen uw vakgebied?
- Wat ziet u als de meest veelbelovende toepassingen van AV's in personenvervoer?
- Welke sectoren of markten zullen volgens u als eerste breed gebruik maken van AV's?
- Wat zijn volgens u de belangrijkste voordelen van AV's ten opzichte van conventionele voertuigen?

3. Impact op ruimtelijke organisatie en infrastructuur

- Hoe denkt u dat AV's de stedelijke infrastructuur zullen beïnvloeden?
- Ziet u een verandering in hoe steden en vervoersnetwerken worden ontworpen door de adoptie van AV's?
- Wat zijn de grootste uitdagingen voor steden en beleidsmakers bij de implementatie van AV's?
- Hoe kunnen overheden en stadsplanners zich voorbereiden op de komst van AV's?
- Hoe denkt u dat AV's de capaciteit van wegen en vervoersnetwerken zullen beïnvloeden?
- Zal de komst van AV's leiden tot een afname of toename van verkeerscongestie?

4. Milieu-impact en duurzaamheid

- Welke impact denkt u dat AV's zullen hebben op energieverbruik en uitstoot?
- Ziet u AV's als een kans of bedreiging voor duurzame mobiliteit?
- Welke maatregelen zijn nodig om te zorgen dat AV's bijdragen aan emissiereductie en duurzaam transport?
- Welke economische voordelen of nadelen verwacht u door de introductie van AV's?

- Ziet u kansen voor nieuwe bedrijfsmodellen en economische sectoren door de komst van AV's?

5. Veiligheidsgevoel en ongevallen

- Hoe schat u het veiligheidsgevoel van gebruikers en andere weggebruikers in met betrekking tot AV's?
- Wat zijn de grootste veiligheidsrisico's die u ziet bij de implementatie van AV's?
- Zijn er reeds bekende incidenten of scenario's waarin AV's gevaarlijke situaties hebben veroorzaakt?
- Welke technologische en beleidsmatige maatregelen zouden genomen moeten worden om de veiligheid te verbeteren?

6. Regelgevende uitdagingen

- Wat zijn volgens u de grootste regelgevende belemmeringen voor de implementatie van AV's?
- Hoe moeten wetten en aansprakelijkheidsregels evolueren om AV's veilig en verantwoord te integreren?
- Hoe belangrijk is internationale harmonisatie van regelgeving voor AV's?
- Welke initiatieven ziet u momenteel binnen uw sector of land om regelgeving aan te passen aan AV's?

7. Psychologische en sociale acceptatie

- Hoe schat u de perceptie van het brede publiek ten opzichte van AV's in?
- Welke factoren spelen een rol in het vertrouwen of wantrouwen tegenover AV's?
- Welke strategieën kunnen worden ingezet om de maatschappelijke acceptatie van AV's te bevorderen?
- Denkt u dat er specifieke bevolkingsgroepen zijn die AV's sneller zullen accepteren dan anderen?

8. Toekomstvisie en afsluiting

- Hoe ziet u de rol van AV's in mobiliteit binnen 10 tot 20 jaar?
- Welke technologische en beleidsmatige ontwikkelingen moeten er gebeuren om AV's breed in te zetten?
- Zijn er nog andere aspecten rond AV's die u belangrijk vindt om te benoemen?

Afsluiting:

- Bedanken voor deelname.

Bijlage B: Transcriptie interview Jingjun Li (Postdoctoraal Onderzoeker)

Aanwezigen: Erald Lika (E), Jingjun Li (J)

Datum: 21 maart 2025, 15:00

Duur: 34 minuten

Online via Microsoft Teams

E: Hello.

J: Good afternoon. Can you see me?

E: Yes, I can.

J: Great. How should I spell your name?

E: You can say Erald.

J: Erald, OK. My name is Jingjun.

E: Nice to meet you.

J: Nice to meet you too.

E: I will start by introducing myself and asking for your permission to record this video interview, if that's alright?

J: Yes.

E: Thank you.

J: No problem.

E: So, my name is Erald Lika. I am currently studying Business Administration with a focus on Supply Chain Management. I am writing my thesis on automated vehicles, focusing specifically on their impact on spatial organization, sustainability, safety, and regulatory challenges. Could I ask you to introduce yourself and explain your personal experience with automated vehicles?

J: Sure. My name is Jingjun Li. I am currently a postdoctoral researcher at the Transportation Digital Twin Lab. Before starting my postdoc, I completed my PhD at the Vrije Universiteit Brussel in Belgium. My PhD research focused on the transport simulation of shared autonomous vehicles and their impact on the mobility network in Brazil. We conducted an impact assessment using transport

simulation methodologies. That forms the basis of my academic background and my expertise related to shared autonomous vehicles.

E: I see.

J: Additionally, I also went on a study trip to the United States, where I visited companies like Waymo and Cruise to learn about their regulations and developments around autonomous vehicles by 2023.

E: Oh, that's interesting. So, now I would like to dive into the definition and applications of automated vehicles. How would you define automated vehicles within your field?

J: How would I define automated vehicles? You mean a definition, right? So, you want me to explain what it is?

E: Yes.

J: In my view, autonomous vehicles should ideally be supported by electrification. Electric vehicles and autonomous vehicles should evolve together and complement each other. Electrification can help in the digitalization of the information loops used by shared autonomous vehicles, and autonomous vehicles can provide valuable data back to support electric mobility. When based on electric propulsion, autonomous vehicles become more sustainable for urban mobility.

Additionally, I believe we should avoid a situation where everyone owns a private autonomous vehicle. Many studies have shown that if private car ownership simply shifts to private autonomous vehicle ownership, without transitioning to electric vehicles, urban congestion would actually increase. Therefore, strong regulations will be needed to encourage shared use models. Promoting shared mobility will require a significant shift in people's travel behavior. Of course, an autonomous vehicle, by definition, should be capable of driving itself independently.

E: Thank you. Moving on, what do you see as the most promising applications of autonomous vehicles in passenger transport?

J: For me, the most promising applications are in car sharing and ride pooling. As I researched during my PhD and continue to study now, reducing the number of privately owned vehicles in cities is a major goal. Autonomous vehicles offer a strong alternative because they can drive themselves to pick up passengers, making it easier to share rides. The ability to facilitate sharing and carpooling is, in my opinion, the most valuable technological advantage of autonomous vehicles.

E: And which industries or markets do you think will be the first to make widespread use of autonomous vehicles?

J: If you look at China and the United States compared to Europe, Europe is lagging behind due to stricter regulations and lower public acceptance of autonomous vehicles. In the US and China, real-

world deployments are already happening. I think initially, the technology will be adopted by people who are willing to try new technologies and those who will directly benefit from it, such as individuals who cannot currently afford a car. Autonomous vehicles provide more flexibility compared to traditional public transport, which is crucial for people needing more adaptable travel options. Once they trust the technology, they are likely to adopt it, spread their positive experiences through word-of-mouth and social media, and encourage broader acceptance.

E: Okay. And what do you think are the main advantages of automated vehicles compared to conventional vehicles?

J: First of all, safety. Studies have shown that human error accounts for about 90% of traffic accidents. By using digitalization and automation technologies, we can significantly reduce these errors, making traffic safer overall. Secondly, sustainability. If autonomous vehicles are introduced in combination with electrification, they can significantly lower fuel consumption and emissions. So they contribute to a more sustainable mobility system.

E: Alright. So, the main advantages are safety and sustainability?

J: Yes, but I would add a third one: flexibility. Autonomous vehicles can make the mobility system much more inclusive. In the United States, for example, public transportation in rural areas is often very limited. If you live in such areas and you don't own a car, daily life becomes extremely difficult. Autonomous vehicles can help address this by providing flexible transport options where human-operated services like Uber might not be available or profitable. For these populations, autonomous vehicles could significantly improve access to mobility, provided they are deployed correctly.

E: Thank you. Now I would like to continue with the topic of spatial organization and infrastructure. How do you think automated vehicles will impact urban infrastructure?

J: I think the most significant impact, based on my current research, is that a lot of urban space will be freed up. Urbanization in major cities around the world is still increasing, including in Europe, Belgium, and the Netherlands. Cities are facing a growing shortage of space, and a major reason for that is private vehicle ownership. Each private car typically requires at least two parking spaces daily — one at home and one near the workplace or other destinations. If more people start using autonomous vehicle services, vehicles could relocate themselves more efficiently, reducing the need for parking space in cities. This would allow us to redesign and return valuable urban land back to the people. The freed-up space could be used for other purposes, such as public markets or intelligent traffic management systems. Returning land to the public is, in my opinion, one of the most urgent issues to address. Here at my research institute, we are also studying dynamic road space allocation. For example, a street could be open for traffic during the morning peak hours but closed later in the day to serve as a market space. Autonomous vehicles could greatly support this flexibility, especially if parking needs are reduced.

E: You may have already answered my next question, which was whether you see a change in how cities and transportation networks are being designed with the adoption of autonomous vehicles.

J: Yes, and I would like to add that we need to be cautious. Because autonomous vehicles make travel so convenient, there is a risk that more people will choose to live farther away from cities. This could lead to urban sprawl, which has both positive and negative consequences. From a regulatory perspective, we need to be aware of how human transportation behavior might change and develop policies accordingly.

E: I see. And what do you think are the biggest challenges for cities and policymakers regarding the implementation of autonomous vehicles?

J: Do you mean in Europe or globally?

E: Everywhere in the world.

J: Globally, I think the biggest challenge is how to manage the impact on employment. Many in the autonomous vehicle industry argue that while driving jobs will disappear, new jobs will be created in the technology sector. Personally, I doubt that this transition will be easy. For example, someone who has been a driver for twenty years might find it very difficult to switch to a new industry. Most likely, the jobs created by vehicle automation will not directly benefit the people who lose their current driving jobs. This will create significant social challenges. In countries like China, and probably also in the United States where Uber is a big employer, a large number of people rely on driving for their income. Regulation will need to ensure that the lives of these workers are not severely disrupted by the transition to autonomous vehicles. I believe this is a major barrier that could slow down the deployment of the technology.

E: And how do you think autonomous vehicles will affect the capacity of roads and transport networks?

J: It really depends on how autonomous vehicles are used. If they are mostly shared, there could be an increase in traffic volume because shared autonomous vehicles need to make additional trips to pick up passengers. Simulations show that if private car users switch to shared AVs, the total traffic on streets could increase, requiring higher network capacity. However, because of their flexibility, autonomous vehicles might also free up some road space, especially if they are managed efficiently. It's a complex trade-off, and honestly, it's still unclear whether the overall effect will be an expansion or a reduction in road capacity. What is certain is that it will bring significant changes.

E: Now I would like to move on to the topic of environmental impact and sustainability. What impact do you think automated vehicles will have on energy consumption and emissions?

J: From an emissions perspective, I think a more thorough analysis is needed. When conducting environmental assessments of autonomous vehicles, there is often an assumption that they are

electric and thus have zero emissions. However, this overlooks the energy consumption associated with building electric charging stations and the operation of various systems within the vehicle itself. These indirect factors are not always included in current sustainability research. Most likely, autonomous vehicles will contribute to a more sustainable future because transportation today is responsible for a large share of emissions. However, it is still uncertain exactly how much can be saved. Additionally, the energy sector will need to adapt significantly. If autonomous vehicles are electric, they will require new charging infrastructures. Since autonomous vehicles can relocate themselves, the locations and organization of charging stations will also change compared to the current situation. It all goes back to changes in human behavior and how we manage the integration of autonomous vehicles. Overall, I believe these are worthwhile investments for urban sustainability, even though they will require significant adjustments.

E: And what economic benefits or disadvantages do you expect from the introduction of AVs?

J: Economic benefits will depend on how the technology is deployed. If the market is dominated by a few large companies — as is currently the case in the United States with players like Uber and Lyft — these platforms could monopolize the market and reap most of the financial benefits. While overall travel might increase because people find autonomous vehicles convenient, the profits would largely flow to the platform owners rather than being distributed across society. Considering also the potential job losses we discussed earlier, I cannot say with certainty whether the overall economic impact will be positive or negative. It will highly depend on regulation and how the technology is introduced and managed.

E: And do you see opportunities for new business models or economic sectors with the advent of AVs?

J: Yes, definitely in areas like car sharing and ride pooling. Currently, car sharing depends on the availability of human drivers willing to pick up passengers. With autonomous vehicles, the vehicle can come to you automatically, which would make the system much more efficient and easier to scale. If more people are willing to share rides, it will become easier to find matches within the system. This shift could significantly change the current business models. Although no completely new sectors are very clear yet, shared autonomous vehicles already represent a business model that is quite different from traditional taxi services.

E: Alright. Let's move on to perceived safety and accidents. How do you assess the feeling of safety among users and other road users regarding AVs?

J: Based on existing research and my own experience, users initially feel cautious when they first enter an autonomous vehicle — especially during the first ten minutes or so. It feels unfamiliar and a bit unsettling at first. However, after a short time, people generally relax and feel as if they are in any normal car. As I mentioned before, since many traffic accidents are caused by human error, autonomous vehicles — once the technology matures — could significantly improve road safety. This is something we can be quite confident about.

E: Okay, and what are the biggest safety risks you foresee with the implementation of AVs?

J: One major risk comes from the mixed traffic environment. In the future, there will be a combination of shared autonomous vehicles and human-driven vehicles. Pedestrians and other road users might behave more aggressively around autonomous vehicles, assuming that the vehicle will always stop or yield. This could increase the chances of risky situations. It's important to note that operating in a mixed environment — with both human-driven and autonomous vehicles — is much more challenging than a fully autonomous environment. And this mixed phase is the one we will face most commonly over the coming decades.

E: Are there any known incidents or examples where AVs have caused dangerous situations?

J: Personally, I am not aware of any specific incidents, although there are some reports in the media. However, such cases are still relatively rare at this stage.

E: And what technological and policy measures should be taken to improve safety?

J: One important step is to ensure that people can easily recognize whether a vehicle approaching them is autonomous or not. Just like a red traffic light universally signals the need to stop, there should be a clear and universally understood system to identify autonomous vehicles. Right now, this kind of recognition is lacking, and public awareness needs to be developed to improve safety and trust.

E: Now I would like to move on to the topic of regulatory challenges. What do you think are the biggest regulatory barriers to the implementation of AVs?

J: As I mentioned earlier, I think one of the biggest barriers is how to manage the issue of job loss. How can we ensure that vehicle automation benefits everyone? That's a major regulatory challenge. Another important aspect is building public trust in the technology.

E: And what about the laws and liability rules? How should those evolve to integrate AVs safely and responsibly?

J: I'm not a legal expert, but I believe the first thing we need is clarity on responsibility. If an accident involving an autonomous vehicle happens, we need to clearly define who is liable. Beyond that, I can't say much because it's outside my expertise.

E: No problem, that's okay. Are you personally seeing initiatives within your industry or country to adapt regulations for AVs?

J: In the Netherlands, progress has been slow. A few years ago, there was a pilot project with autonomous vehicles, but it was stopped — maybe because of COVID. However, they plan to restart it next year, which is a positive step.

E: Now onto psychological and social acceptance. How would you assess the general public's perception of AVs?

J: It really depends on the country and the region. In Europe, people are more conservative compared to the US or China. Personally, I don't think the perception of AVs in Europe is very positive yet.

E: What factors do you think influence trust or distrust in AVs?

J: Mostly whether people have direct experience with the technology. If someone has tried it, they are more likely to trust it. If people only hear about it or watch videos, they tend to fear it. So letting people experience AVs firsthand plays a critical role in building trust.

E: I see. I was about to ask what strategies could be used to promote social acceptance — so letting people try it seems key.

J: Yes, and also promoting the technology in society in general. People need to be aware that this technology is evolving and becoming part of daily life. Raising public awareness is important.

E: Do you think certain populations will accept AVs faster than others?

J: Yes, definitely. People who are enthusiastic about technological developments and those who currently have limited mobility options will likely be among the first to adopt AVs.

E: Thank you. Now, the last section is about your future vision and conclusion. How do you see the role of AVs in mobility within the next 10 to 20 years?

J: Honestly, it's hard to predict. Everything will depend on the pace of technological development. Currently, the technology is not yet mature enough for full level 5 automation. In 10 or 20 years, we'll have a better idea, but right now, no one can really say for sure.

E: And what technological and policy developments are needed to enable the widespread adoption of AVs?

J: The same things needed to promote social acceptance: regulation, technological advancement, and public trust. All three are essential.

E: Are there any other aspects related to AVs that you think are important to mention?

J: No, nothing else comes to mind at the moment.

E: Alright, then that was it. I want to thank you for your participation. I really appreciate your insights.

J: You're welcome.

E: If you think of anything else regarding the interview, feel free to let me know. Otherwise, I think we're done.

J: OK. Good luck with your thesis! If you finish it, I'd love to have a look. You can send me a copy — it sounds very interesting.

E: Sure, I will. Thank you again.

J: No problem. Take care.

E: Have a nice day!

J: Thank you, bye.

E: Bye.

Bijlage C: Transcriptie interview Tim Asperges (Adviseur Mobiliteit Stad Leuven)

Aanwezigen: Erald Lika (E), Tim Asperges (T)

Datum: 27 maart 2025, 9:00

Duur: 53 minuten

Online via Microsoft Teams

E: Hallo.

T: Hallo.

E: Ik zou graag willen beginnen met mezelf voor te stellen en u te vragen of het oké is om dit gesprek op te nemen.

T: Ja dit is goed voor mij.

E: Oké dank u wel. Dus ik ben Erald Lika, ik ben masterstudent Handelswetenschappen met een specialisatie in Supply Chain Management. Ik ben nu mijn thesis aan het schrijven waarin ik focus op de impact van geautomatiseerde voertuigen op stedelijke vorming, duurzaamheid, veiligheid en regelgevende uitdagingen. Kan ik u vragen uzelf even kort voor te stellen?

T: Ja, mijn naam is Tim Asperges en ik ben adviseur mobiliteit voor de stad Leuven. Ik werk inmiddels een elf jaar voor de stad, waar ik verantwoordelijk ben voor het strategisch beleid rond mobiliteit op lange termijn. Mijn achtergrond ligt in ruimtelijke planning en bouwkunde, maar mijn hele loopbaan ben ik al bezig met mobiliteitsbeleid en mobiliteitsplanning. Ik heb een eigen studiebureau gehad en ook gewerkt aan de Universiteit Hasselt, aan het Instituut voor Mobiliteit. De afgelopen tien jaar ben ik verantwoordelijk voor de toekomstige lijnen rond mobiliteitsbeleid in Leuven. Een van die lijnen is autonoom vervoer. Op dit moment zijn wij als stad betrokken bij een aantal Europese projecten waarin we demo's rond autonoom openbaar vervoer organiseren, en ook binnen stadslogistiek bereiden we de stap naar volwassen opschaling voor wat betreft autonoom rijden.

E: Welke aspecten van geautomatiseerde voertuigen komen in uw professionele carrière het meeste terug?

T: Voor een lokale overheid draait het vooral om de vraag wie het recht krijgt om het openbaar domein te gebruiken en aan welke service- en veiligheidsniveaus voertuigen moeten voldoen om vergunningen te krijgen. Op termijn zullen we ook moeten differentiëren in welk type voertuigen we al dan niet toelating geven om ophaal- en afzetactiviteiten uit te voeren. Autonoom rijden zal sowieso doorzetten, zowel bij commerciële voertuigen als privévoertuigen. De industrie is daar maniakaal mee bezig. Onze uitdaging als overheid is ervoor te zorgen dat we onze stedelijke omgeving bereikbaar houden. De commerciële partijen willen natuurlijk hun private autonome voertuigen

verkoop en presenteren zich als de oplossing voor alle mobiliteitsproblemen. Maar dat is natuurlijk niet zomaar zo. Het is aan ons om afhankelijk van het type voertuig en dienst te bepalen of toegang tot het openbaar domein wordt verleend. In Californië zien we nu al dat grote spelers veel ruimte krijgen om autonoom rijden op te schalen, mede omdat de regelgeving daar extreem flexibel is. Dat zal daar op termijn zeker tot problemen leiden.

E: Oké, dus hun aanpak verschilt wel sterk van de onze qua regelgeving.

T: Ja, absoluut. Er zit daar een heel liberale gedachte achter: innovatie moet mogelijk gemaakt worden en mag niet doodgereguleerd worden. Op zich ben ik het daar mee eens. Maar wanneer commerciële ondernemingen erin slagen om exclusieve pick-up en drop-offrechten af te dwingen, bijvoorbeeld rond scholen onder het mom van veiligheid, dan slaan we door. Dat is niet de richting van duurzame mobiliteit waar wij naartoe willen. In die context zie ik dat overheden en regelgevers in Silicon Valley veel te weinig tegengewicht bieden. In Europa staan we qua technologische ontwikkeling achter, maar ik geloof dat wij toonaangevend kunnen worden in hoe we mobiliteitsdiensten op een volwassen manier reguleren.

E: U had het vooral over private voertuigen. Zijn er volgens u ook toepassingen van geautomatiseerde voertuigen die wel veelbelovend zijn?

T: Ja, zeker. Een grote uitdaging voor stedelijke en stadsregio's is het organiseren van mobiliteit in perifere gebieden. In de hypercentra, waar de vervoersvraag groot is, kan je via openbaar vervoer sterke vervoersdiensten aanbieden. Maar in de meer verspreide regio's, met een ruimtelijk versnipperd activiteitenpatroon, lukt dat niet. In Vlaanderen, bijvoorbeeld, kan je blijven investeren in De Lijn, maar op het platteland en in de randzones krijg je nooit een volwaardig servicelevel met klassiek openbaar vervoer. Daar heb ik veel vertrouwen in robottaxi's en vraaggestuurde autonome diensten. De huidige vraagafhankelijke diensten zijn nog te duur in exploitatie, maar autonome robottaxi's zouden een betere businesscase kunnen hebben om dienstverlening in perifere zones efficiënter te organiseren. Een andere uitdaging die zich stelt, is of autonome voertuigen een katalysator zullen worden om overal en nergens te gaan wonen, werken en activiteiten uit te bouwen. Dat hoop ik niet, maar het is wel een belangrijke uitdaging. Op het vlak van ruimtelijke ordening moeten we blijven redeneren vanuit het principe van nabijheid van functies en een mix van functies. Dat principe komt onder druk te staan, omdat autonome vervoersdiensten mogelijk suburbane regio's op een volwaardige manier kunnen bedienen. Hoewel dat een kans biedt, vormt het tegelijk ook een bedreiging. Alles staat of valt uiteindelijk met hoe efficiënt en optimaal je de ruimtelijke ontwikkeling organiseert. De negatieve gevolgen van een ruimtelijke wanorde zijn in Vlaanderen vandaag al duidelijk zichtbaar, zeker als je kijkt naar de hoge sturings- en exploitatiekosten van allerlei openbare diensten door de verspreide bebouwing en activiteiten.

E: Welke voordelen ziet u eigenlijk als belangrijkste bij geautomatiseerde voertuigen ten opzichte van gewone voertuigen?

T: Het grootste voordeel dat ik zie, is dat je jammer genoeg geen chauffeurs meer nodig hebt. Chauffeurs vormen een aanzienlijke kost in de exploitatie van vervoersdiensten. Door autonome voertuigen kunnen die kosten sterk dalen, waardoor je met hetzelfde budget meer dienstverlening kunt aanbieden. In het openbaar vervoer, waar de overheidsbijdrage onder druk staat, is dat een belangrijke opportuniteit. Een ander voordeel is de verkeersveiligheid. De meeste ongevallen worden veroorzaakt door menselijke fouten. Door die menselijke factor weg te nemen, geloof ik dat autonome voertuigen een duidelijke meerwaarde kunnen bieden voor de verkeersveiligheid. Daarnaast geloof ik sterk dat, mits goede regulering door de overheid, we kunnen evolueren naar gedeelde systemen met minder voertuigen. Als we de private markt zomaar zijn gang laten gaan, riskeren we overspoeld te worden met individuele autonome voertuigen, wat de congestieproblemen alleen maar zou verergeren. Er zit een grote kans in dat gedeelde autonome systemen ervoor zorgen dat het aantal voertuigen daalt. Daardoor vermindert ook de behoefte aan parkeerruimte, wat ons in staat stelt om het openbaar domein anders en efficiënter te gebruiken. Bovendien zal de tijd dat voertuigen stilstaan sterk dalen. De publieke ruimte die nu vaak ingenomen wordt door geparkeerde voertuigen, kan dan voor andere activiteiten ingezet worden.

E: Dus u denkt dat door geautomatiseerde voertuigen er meer plaats vrijkomt?

T: Inderdaad. Ik hoop vooral dat het privébezit van voertuigen daalt, zodat er meer publieke ruimte vrijkomt voor andere doeleinden.

E: Oké. En op vlak van milieu-impact, welke effecten verwacht u van geautomatiseerde voertuigen op energieverbruik en uitstoot? En hangt dat misschien ook af van welk scenario zich uitrolt?

T: Zeker. De impact zal afhangen van het scenario. Als we erin slagen om een groot deel van de autonome voertuigen in te zetten voor gedeelde diensten, dan zal het aantal voertuigkilometers per verbruikte energieneenheid spectaculair stijgen. Daardoor kunnen we met minder energie meer mobiliteit aanbieden, wat positief is voor het milieu. Er liggen dus grote opportuniteiten in autonoom rijden, op voorwaarde dat het om gedeelde diensten gaat, of dat voertuigen minstens een groot deel van de tijd actief worden ingezet.

E: Oké. Dus ziet u geautomatiseerde voertuigen eerder als een kans of eerder als een bedreiging voor duurzame mobiliteit?

T: Ik zie ze in de eerste plaats als een kans, zeker voor nieuwe mobiliteitsoplossingen. Tegelijk zie ik ook een bedreiging, omdat ik nog geen goed antwoord zie op de impact die autonome voertuigen kunnen hebben op onze ruimtelijke ordening. De overheid zal veel meer regie moeten nemen, vooral bij het vastleggen van bestemmingsplannen en het bepalen waar bepaalde activiteiten al dan niet toegelaten worden. Autonome voertuigen kunnen een verspreid ruimtelijk patroon stimuleren, wat negatieve gevolgen kan hebben voor biodiversiteit, open ruimte en ontharding. Zonder goede ruimtelijke sturing dreigen die effecten problematisch te worden.

E: U heeft al aangegeven hoe overheden zich het best kunnen voorbereiden. Hoe kunnen stadsplanners zich specifiek voorbereiden op de komst van autonome voertuigen?

T: Daar zit precies mijn zorg. Vanuit de hoek van planologen en ruimtelijke planners merk ik vandaag nog onvoldoende inzicht en concrete antwoorden over hoe om te gaan met de impact van autonomie. Een interessant voorbeeld dat ik kan geven, is afkomstig uit een OESO-publicatie: we zullen ons openbaar domein anders moeten gaan 'coderen'. We zullen dus moeten bepalen welke voertuigen welke toegangsrechten krijgen. In bepaalde delen van de stad gaan we specifieke pick-up- en drop-offrechten toekennen. Om een voorbeeld te geven waar ik heb gezien dat het misliep: in Californië kunnen vijftien mensen tegelijk een robottaxi bestellen op dezelfde locatie. Dan komen vijftien voertuigen tegelijk aan en ontstaat er complete chaos. Op plekken waar de vervoersvraag heel groot is, zullen we in de regelgeving moeten vastleggen dat alleen grotere voertuigen — bijvoorbeeld een autonome bus met een minimumaantal zitplaatsen — een pick-up- en drop-offrecht krijgen. Kleine robottaxi's voor twee personen zouden daar niet toegestaan mogen worden. Dat soort regulering is nodig om vervoer efficiënter te organiseren. Ook op vlak van werkorganisatie denk ik dat er piek- en dalperiodes zullen zijn in de vervoersvraag. Als mobiliteit evolueert naar een dienst in plaats van bezit — en dat geloof ik echt — dan moeten die voertuigen in de piekuren ergens gestald kunnen worden. We zullen geschikte locaties moeten voorzien om die vervoersdiensten optimaal te laten functioneren. Daarnaast blijft het belangrijk om onze scholen, bedrijven, woon- en maatschappelijke functies ruimtelijk goed te organiseren. Ik blijf geloven in het STOP-principe: eerst stappen, dan trappen, dan openbaar vervoer en pas daarna gemotoriseerd vervoer. De nabijheid van functies moet de basis blijven, zodat verplaatsingen in de eerste plaats te voet of met de fiets kunnen gebeuren. Autonome voertuigen moeten een aanvulling zijn, niet de standaard. Onze ruimtelijke ontwikkeling moet daarop blijven bouwen.

E: Oké. U had het eerder over openbaar vervoer zoals de bus. Denkt u dat autonome voertuigen en openbaar vervoer een én-én verhaal zullen worden, of eerder elkaar vervangen?

T: Ik vermoed dat we naar een gemengd model zullen evolueren.

E: Bedoelt u dat autonome voertuigen openbaar vervoer zoals De Lijn kunnen overnemen, of eerder samenwerken?

T: Eigenlijk gaan mobiliteitsbedrijven ontstaan die verschillende autonome vervoersdiensten aanbieden. Gebruikers zullen via abonnementsformules pakketten op maat kunnen kiezen. Er zal altijd diversiteit zijn: enerzijds exclusieve privéverplaatsingen met voertuigen die een bepaalde status bieden, en anderzijds collectieve vervoersdiensten. Ik heb daar geen probleem mee. Die diversiteit hoort erbij. Regulering zal wel moeten zorgen dat alles correct wordt georganiseerd.

E: Oké. En nog even in verband met capaciteit: hoe denkt u dat autonome voertuigen de capaciteit van het vervoersnetwerk gaan beïnvloeden?

T: Als ik kijk naar het openbaar vervoersnetwerk zoals we het nu kennen, dan zie ik dat autonome voertuigen vooral de zware kernnetlijnen zullen blijven bedienen. Dat zijn lijnen met een hoge vervoersvraag. Het aanvullend net en vervoer-op-maat zullen meer vraaggestuurd worden. De ruggengraat blijft het kernnet, waar de vervoersvraag permanent is. Voor de andere netwerken zie ik een evolutie naar kleinere voertuigen en vraagafhankelijke diensten die overstappen mogelijk maken via hubs. In de organisatie zullen die kleinere, vraaggestuurde voertuigen niet overal toegang krijgen. Pick-up- en drop-offrechten zullen waarschijnlijk beperkt worden tot specifieke overstaphubs buiten de stedelijke gebieden. Zo zie ik het wel evolueren.

E: Ja, dat is inderdaad wel wat ik bedoelde. Het ging vooral over de capaciteit.

T: De capaciteit zal zeker kunnen opgevangen worden. Meer zelfs, het grote voordeel van autonome vervoersdiensten is dat ze 24 uur op 24 en 7 dagen op 7 inzetbaar zijn. Ook in dalperiodes, wanneer de vervoersvraag laag is, kunnen ze een basisdienst aanbieden. Dat zou met traditionele systemen, die afhankelijk zijn van chauffeurs, economisch moeilijk haalbaar zijn.

E: Oké. En zal de komst van autonome voertuigen leiden tot een afname of toename van verkeerscongestie?

T: Ik hoop dat, als we het voldoende goed organiseren — en vandaar mijn nadruk op het belang van regulering door de overheid — dat de verkeerscongestie zal afnemen. Maar als we het vrij laten evolueren, zoals we vandaag in sommige delen van de Verenigde Staten zien, dan loopt het risico uit de hand te lopen. In de Verenigde Staten zie je dat het openbaar vervoer op veel plaatsen zeer laagdrempelig is uitgebouwd. Er is een tendens waarbij grote techbedrijven proberen te beweren dat zij de oplossing zijn voor alle mobiliteitsproblemen. Dat leidt ertoe dat er soms minder in openbaar vervoer wordt geïnvesteerd. Maar in stedelijke gebieden met veel activiteiten op een kleine ruimte, heb je kernnetlijnen nodig met voertuigen die veel mensen tegelijk kunnen vervoeren. Individuele robottaxi's of autonome voertuigen kunnen daar geen meerwaarde bieden ten opzichte van het klassieke openbaar vervoer. Hier zal regulering echt noodzakelijk zijn. Een grote opportuniteit is wel dat het private autobezit spectaculair zou kunnen dalen, op voorwaarde dat alternatieve vervoersdiensten kwalitatief sterk genoeg zijn om mensen te overtuigen hun eigen wagen op te geven. Dat kan leiden tot een rationeler gebruik van vervoersdiensten: je gebruikt een voertuig alleen wanneer je het echt nodig hebt, in plaats van gewoon je eigen auto uit gewoonte te nemen.

E: Oké. Dan wil ik nog even terugkomen op het veiligheidsgevoel en ongevallen. Hoe schat u het veiligheidsgevoel in van gebruikers en andere weggebruikers?

T: Dat zal een grote uitdaging zijn. Rationeel gezien zijn autonome voertuigen veiliger dan menselijke chauffeurs, maar in de perceptie zal elk incident enorm uitvergroot worden. Elk ongeval waarbij een autonoom voertuig betrokken is, zal snel als de schuld van de technologie worden gezien, zelfs als dat niet zo is. Dat kan een enorme negatieve impact hebben op het draagvlak om autonome voertuigen toe te laten op het openbaar domein. In het begin zullen mensen zich onwennig en ongemakkelijk voelen bij autonome voertuigen. Toch zie je dat in volwassen pilootprojecten de

gewenning vrij snel optreedt. Zodra mensen ervaring hebben met autonome voertuigen, voelen ze zich vaak vrij snel gerustgesteld. Maar communicatie en branding zullen cruciaal zijn. Er moet veel inspanning geleverd worden om incidenten niet uit proportie te laten groeien en te vermijden dat één negatief voorval de hele sector terugwerpt. Om een voorbeeld te geven: bij een project van WeRide, een joint venture tussen een Chinese speler en Bosch, werd in Barcelona een dienst opgestart. Ook in Leuven zijn we bezig met voorbereidingen. Recent was er ergens een incident waarbij een bestuurder van een bemand voertuig zich manifest irrationeel gedroeg tegenover een autonoom voertuig, wat leidde tot een ongeval. Toch wordt in de publieke perceptie vaak de autonome technologie als schuldige gezien. Dit toont aan hoe fragiel het draagvlak nog is, en hoe voorzichtig we hiermee moeten omgaan.

E: Zijn er nog andere veiligheidsrisico's die u ziet, bijvoorbeeld in de interactie met fietsers en voetgangers?

T: Ik begin daar eigenlijk steeds geruster in te worden. De technologie om potentiële conflicten met voetgangers en fietsers te detecteren en vermijden is behoorlijk ver gevorderd. De voertuigen zijn voorzien van ruime veiligheidsmarges om noodstops te kunnen maken bij onverwachte bewegingen van zwakke weggebruikers. In steden waar veel gewandeld en gefietst wordt, geloof ik dat de mix tussen autonome voertuigen en actieve modi zoals fietsen en wandelen mogelijk blijft. Autonome voertuigen zullen zich moeten aanpassen aan het ritme van deze actieve modi, en daar zijn de eerste goede voorbeelden van te zien. Ik maak me meer zorgen over de interactie tussen autonome voertuigen en bemande motorvoertuigen. Chauffeurs van gemotoriseerde voertuigen die irrationeel gedrag vertonen, kunnen echte conflicten veroorzaken met autonome voertuigen.

E: Welke technologische of beleidsmaatregelen zouden genomen kunnen worden om de veiligheid te verbeteren?

T: Snelheidsbeheer zal essentieel zijn. Door snelheden aan te passen aan de omgeving en de omstandigheden, kunnen veel risico's vermeden worden.

E: Zou er iets moeten gebeuren om de veiligheid tussen autonome voertuigen en voetgangers of fietsers verder te verbeteren?

T: Nee, ik ben tegen het principe waarbij voetgangers of fietsers verplicht zouden worden om bepaalde attributen te dragen of te installeren om gevaren te vermijden. Zij zijn niet de veroorzakers van het risico. De verantwoordelijkheid ligt bij de voertuigen en de infrastructuur om hen te beschermen. Waar ik veel moeite mee heb, is dat men fietsers en voetgangers steeds meer verplicht om allerlei attributen te dragen, zoals helmen of zelfs airbags. Begrijp me niet verkeerd: ik ben absoluut voorstander van het dragen van een fietshelm om het risico voor de fietser zelf te beperken. Maar als je ziet dat er soms systemen worden voorgesteld die fietsers moeten beschermen tegen gemotoriseerd verkeer, dan schuift de verantwoordelijkheid te veel richting de kwetsbare weggebruiker. De veiligheidsmaatregelen moeten juist geïntegreerd zijn in het gemotoriseerd verkeer dat het risico veroorzaakt, niet bij de voetganger of fietser.

E: Hoe denkt u dat wetten en aansprakelijkheidsregels moeten evolueren om geautomatiseerde voertuigen veilig te integreren?

T: Ik denk dat diensten die gebruik maken van het openbaar domein zullen moeten voldoen aan een aantal minimale veiligheidsvereisten om überhaupt toegang te krijgen. Als er dan toch iets misgaat, zal er gekeken moeten worden naar de aansprakelijkheid. Zelf ben ik geen jurist, maar ik denk dat als een dienstverlener voldoet aan alle opgelegde veiligheidscriteria, en er gebeurt toch iets, dat ook de rol van de regulerende overheid in vraag gesteld kan worden. Misschien moeten dan de veiligheidsnormen herzien worden. Regulering en overheid hebben hierin een grote verantwoordelijkheid om infrastructuur en voertuigen zo veilig mogelijk te organiseren.

E: Zijn er al initiatieven om de regelgeving aan te passen?

T: Ja. In België moet de federale overheid momenteel nog uitzonderingen verlenen om autonome voertuigen op de openbare weg toe te laten, omdat de wegcode voorschrijft dat er altijd een chauffeur aanwezig moet zijn. Bij die uitzonderingen worden specifieke veiligheidscriteria opgelegd. Daarnaast vragen de regionale en lokale overheden, als beheerders van de infrastructuur, dat er een veiligheidsanalyse wordt uitgevoerd van de trajecten waarop autonome voertuigen zullen rijden. In Vlaanderen is er ook een Taskforce Autonoom Rijden, waar alle betrokken partijen samenkomen: wegbeheerders, federale overheden, technologiebedrijven, enzovoort. In werkgroepen wordt onder andere gewerkt aan het regulerende kader en aan afspraken over het minimale veiligheidsniveau. Op Europees niveau wordt ook gezocht naar manieren om regulering op elkaar af te stemmen. Een andere uitdaging in de toekomst zal het databeheer zijn. Autonome voertuigen capteren en stockeren gigantische hoeveelheden data. Vandaag doen bedrijven dat allemaal apart, maar op termijn zal datamanagement meer gecoördineerd moeten worden, om dubbele opslag en inefficiëntie te vermijden.

E: Ja, want ook in de logistieke sector zie je dat samenwerking rond data moeilijk loopt. Denkt u dat dit bij autonome voertuigen een gelijkaardig probleem zal worden?

T: Ja, absoluut. Er zullen Trust-organisaties moeten ontstaan, gestuurd door de overheid, commercieel of gemengd, die onafhankelijk kunnen optreden. Zij zullen moeten instaan voor de vertrouwelijke verwerking en bundeling van verkeersveiligheidsdata, zodat die gedeeld kan worden tussen verschillende spelers. Concurrenten zullen hun data moeten durven delen waar het de algemene verkeersveiligheid ten goede komt. Dat gebeurt nu nauwelijks, maar er bestaan voorbeelden in de logistiek waar dit met onafhankelijke organisaties wel lukt.

E: Oké. Dan nog even over de psychologische en sociale acceptatie. U zei al dat fouten van autonome voertuigen onder een vergrootglas zullen liggen. Welke strategieën ziet u om maatschappelijke acceptatie te bevorderen?

T: In Leuven willen we dat aanpakken via een Europees project, genaamd RADAR, waarin we gedurende zes maanden een autonome shuttle zullen laten rijden op het openbaar domein. Zo kunnen mensen kennismaken met de technologie. Dit soort demonstraties zijn essentieel om vertrouwen op te bouwen. Er zal veel communicatie, sensibilisering en informatiecampagnes nodig zijn om goodwill te creëren bij het publiek. Mensen moeten zien dat de technologie werkt en niet zo beangstigend is als soms gedacht wordt. Als we dat niet doen, zal angst snel overheersen en kan elk incident het draagvlak ernstig schaden. We moeten eerlijk communiceren. Zero ongevallen is niet haalbaar. Vandaag accepteert men ook het feit dat er jaarlijks duizenden verkeersdoden vallen met gewone voertuigen. Bij autonome voertuigen zal men echter een veel hogere standaard verwachten. Daarom moeten we in de communicatie duidelijk maken dat ook nieuwe technologieën niet perfect zijn en nooit perfect zullen worden. De publieke verwachting moet realistischer worden, zodat nieuwe technologieën zoals autonome voertuigen een eerlijke kans krijgen.

E: Oké, dus eigenlijk moeten we sensibiliseren en ook inspelen op de verwachtingen. Die moeten we een beetje bijstellen. Dan wil ik graag afsluiten met uw toekomstvisie. Hoe ziet u de rol van geautomatiseerde voertuigen binnen mobiliteit in de komende 10 tot 20 jaar?

T: Binnen tien jaar verwacht ik dat er behoorlijk wat rationele diensten zullen zijn rond autonoom rijden. Maar het zal nog een lange transitieperiode worden, waarin privé bemenste voertuigen en autonome voertuigen gemengd aanwezig zullen zijn. Dat zal ook de moeilijkste periode zijn, omdat daar de meeste conflicten zullen ontstaan. Toch zie ik die evolutie zeker gebeuren. Ook de trend van bezit naar het aankopen van mobiliteitsdiensten zal verder versnellen. Die beweging is al bezig, maar zal nog duidelijker worden. Mensen zullen inzien dat het aanschaffen van vervoersdiensten, waarvoor ze betalen naargelang gebruik, goedkoper is dan het bezitten van een eigen voertuig. Een bepaalde groep voertuigbezitters zal hun eigen wagen afstoten. Uiteraard blijft er nog een groep die een eigen auto houdt, maar die groep zal kleiner worden. We hebben nu vooral gesproken over personenmobiliteit, maar binnen de logistiek zijn er ook belangrijke ontwikkelingen. Zo werken we samen met de Colruyt Groep om de Collect&Go-service te automatiseren via autonome voertuigen in stedelijke omgevingen. De huidige thuisleveringsdiensten van supermarkten zijn nauwelijks rendabel. Autonoom rijden kan daar het verschil maken om deze dienstverlening minstens break-even of zelfs winstgevend te maken. Als autonoom rijden daar niet doorbreekt, zullen klanten in de toekomst moeten betalen voor thuislevering, ofwel wordt het autonoom rijden de oplossing om de service betaalbaar te houden. Maar goed, uw onderzoek focust zich vooral op personenvervoer. Tot slot wil ik nog benadrukken dat autonoom openbaar vervoer op termijn echt tot een daling van exploitatiekosten kan leiden. Op korte termijn zullen de kosten wel nog hoger liggen, omdat voertuigen tijdelijk bemand moeten worden met een steward, en omdat er remote control centra nodig zijn. We gaan dus een periode in waarin de kosten hoger zijn dan bij klassiek vervoer. Maar ik hoop dat de Vlaamse overheid nu extra investeert in autonome shuttlediensten, zodat we later maatschappelijke winst kunnen boeken: lagere exploitatiekosten en betere dienstverlening. Er is nood aan een echte opschaling. Private ondernemingen die zwaar geïnvesteerd hebben in autonoom rijden staan onder druk. De fase van kleine experimenten is voorbij. Als er geen grootschalige implementatie komt, riskeren veel bedrijven failliet te gaan. Er zijn al enorme investeringen gedaan, maar de return on investment moet nu snel komen. De komende jaren zullen veel bedrijven die op

autonoom rijden inzetten, over de kop gaan. Laten we hopen dat de belangrijkste spelers de overgangperiode overleven. Anders duurt het nog vele jaren voor autonoom rijden echt doorbreekt. De overheid moet nu echt haar rol opnemen om een financiële boost te geven, niet alleen voor kleine experimenten, maar voor echte, volwassen opschaling.

E: Oké, dat is inderdaad een duidelijke rol voor de overheid.

T: Ja.

E: Dan denk ik dat we rond zijn.

T: Goed.

E: Ik wil u hartelijk bedanken voor uw inzichten.

T: Graag gedaan.

E: Als u nog vragen heeft of als u geïnteresseerd bent in het resultaat, laat gerust iets weten.

T: Ja, laat maar weten. Ik ben zeker benieuwd om het te lezen wanneer het af is.

E: Dat zal eind juni zijn.

T: Oké.

E: Ik zal u zeker een exemplaar bezorgen. Nogmaals bedankt!

T: Goed, succes nog!

E: Dank u, dag.

T: Dag.

Bijlage D: Transcriptie interview Evy Rombaut (Onderzoeker en Professor VUB)

Aanwezigen: Erald Lika (E), Evy Rombaut (R)

Datum: 27 maart 2025, 13:00

Duur: 45 minuten

Online via Microsoft Teams

R: Goedemiddag.

E: Goedemiddag, ik zal eerst even starten met te vragen of het oké is als ik het gesprek opneem voor transcriptiedoeleinden.

R: Ja, geen probleem.

E: Oké, top. Ik ben Erald Lika, ik zit in mijn masterjaar Handelswetenschappen, specialisatie Supply Chain Management. Voor mijn masterproef onderzoek ik de impact van geautomatiseerde voertuigen, met focus op infrastructuur, regelgeving, duurzaamheid en andere aspecten. U bent één van de experts die ik hiervoor mag interviewen.

R: Oké.

E: Het interview zal ongeveer een uur duren. Ik zou graag beginnen met enkele persoonlijke vragen. Kunt u zichzelf kort voorstellen en uw professionele ervaring met betrekking tot geautomatiseerde voertuigen toelichten?

R: Ja, zeker. Ik vermoed dat je via Professor Mario Cools bij mij terechtgekomen bent?

E: Ja, klopt.

R: Ik ben onderzoeker en professor aan de Vrije Universiteit Brussel. Ik ben gestart rond het onderwerp autonome voertuigen bij de start van mijn postdoc. Mijn achtergrond is in de wiskunde — ik heb een master in de wiskunde behaald en daarna een doctoraat, waarin ik kwantitatieve modellen onderzocht voor economische toepassingen. Via de onderzoeksgroep MOBI aan de VUB ben ik dan betrokken geraakt bij onderzoek naar autonome voertuigen. In 2019 startte ik als projectmanager en hoofdonderzoeker op een intern vijfjarig project dat de impact van autonoom vervoer op mobiliteit en logistiek bestudeerde. Daarnaast ben ik sinds 2019 ook betrokken bij verschillende Europese projecten, waaronder het grootschalige SHOW-project, waar pilootprojecten rond autonome voertuigen in heel Europa werden uitgerold. Daarbij onderzochten we de impact op veiligheid, efficiëntie, gebruikersacceptatie en meer. Kortom, ik focus mij op de socio-economische impact die autonome voertuigen hebben of zullen hebben op de maatschappij.

E: Oké, dankjewel. Dan zou ik nu graag verder gaan met de definitie en toepassingen van autonome voertuigen. Hoe zou u autonome voertuigen definiëren binnen uw vakgebied?

R: Ik gebruik daarbij meestal de typische SAE-niveaus die je waarschijnlijk kent: niveaus van 0 tot 5, gaande van geen enkele automatisering tot volledige automatisering. Deze niveaus zijn gebaseerd op twee elementen: wanneer moet de bestuurder de controle overnemen en in welke operationele domeinen kan het voertuig zelfstandig navigeren.

E: En wat ziet u als de meest veelbelovende toepassingen van autonome voertuigen binnen het personenvervoer?

R: In personenvervoer zie ik de meeste belofte in voertuigen die gebruik maken van eigen infrastructuur, zoals treinen of trams. Omdat ze zich binnen hun eigen bedding bewegen, hoeven ze minder rekening te houden met andere weggebruikers. Bij gewone personenwagens zie ik het grootste probleem in de interactie met zwakke weggebruikers, die onvoorspelbaar gedrag kunnen vertonen. Daarom denk ik dat voertuigen die in eigen sporen rijden, zoals trams en metro's, op korte termijn het meest veelbelovend zijn.

E: En als we toch kijken naar auto's, bijvoorbeeld via het concept van gedeeld vervoer?

R: Ja, daar ligt inderdaad ook veel focus op. Vooral in pilootprojecten en in de Verenigde Staten, waar men al vrij ver gevorderd is. Toch zijn er daar nog veel uitdagingen. Vooral de overgangsperiode waarin autonome en niet-autonome voertuigen samen rijden, is complex. Het concept van gedeeld gebruik is bovendien cruciaal. Als we gewoon alle privévoertuigen zouden automatiseren zonder verandering in bezitspatronen, dan nemen mobiliteit en verkeersdrukte alleen maar toe. Autonome voertuigen maken het mogelijk dat mensen die vandaag moeilijk mobiel zijn — zoals ouderen of mensen met een beperking — makkelijker kunnen deelnemen aan het verkeer, wat positief is. Tegelijkertijd betekent dat wel meer voertuigen en meer afgelegde kilometers. Daarom moeten we streven naar een mentaliteitswijziging: weg van het privébezit, naar gedeeld gebruik. De meeste auto's staan toch 90% van de tijd stil. Een gedeeld, autonoom voertuig dat je oppikt en afzet biedt alle voordelen zonder het nadeel van bezit.

E: Dankjewel. Wat zijn volgens u de belangrijkste voordelen van autonome voertuigen tegenover conventionele voertuigen?

R: Het allerbelangrijkste voordeel is verkeersveiligheid. Ongeveer 90% van de verkeersongevallen wordt veroorzaakt door menselijke fouten, vaak onder invloed van alcohol of drugs. Autonome voertuigen nemen de menselijke factor weg, houden zich altijd aan de verkeersregels en kunnen daarmee een aanzienlijke daling van het aantal ongevallen realiseren. Daarnaast bieden autonome voertuigen mobiliteitsoplossingen voor mensen met een fysieke beperking, zoals blinden of rolstoelgebruikers, voor wie klassieke vervoersopties vaak omslachtig zijn. Bijvoorbeeld, een rolstoelgebruiker moet vandaag vaak 24 uur op voorhand een trein aanvragen — dat soort beperkingen kunnen autonome voertuigen verlichten. Ook het concept van autodelen kan dankzij

autonome voertuigen een boost krijgen: voertuigen komen je ophalen en zetten je af, zonder dat je zelf moet rijden. Daardoor kunnen gebruikers onderweg werken, ontspannen of andere activiteiten doen.

E: Oké, dankjewel. Dan zou ik nu verder willen gaan met de impact op ruimtelijke organisatie en infrastructuur. Hoe denkt u dat autonome voertuigen de stedelijke infrastructuur zullen beïnvloeden?

R: Als we inzetten op gedeelde autonome voertuigen, dan zullen er veel minder parkeerplaatsen nodig zijn. De ruimte die vrijkomt kan benut worden voor andere functies zoals parken of groenvoorzieningen, wat een grote positieve impact kan hebben op de stedelijke leefomgeving. Daarnaast denk ik dat er ook nood zal zijn aan specifieke fysieke infrastructuur, zeker in de overgangsperiode waarin autonome en conventionele voertuigen samen op de weg zijn. Dat kan bijvoorbeeld betekenen dat er aparte rijstroken voor autonome voertuigen worden voorzien, zodat ze zich veilig en efficiënt kunnen bewegen binnen een eigen bedding. In Europa heerst nog de visie dat autonome voertuigen zich moeten aanpassen aan de bestaande infrastructuur. Maar er groeit ook het besef dat kleine aanpassingen aan zowel de fysieke als digitale infrastructuur nodig zullen zijn om de uitrol van autonome voertuigen mogelijk te maken.

E: Mijn volgende vraag ging eigenlijk over hoe steden en vervoersnetwerken zouden veranderen, maar dat heeft u al grotendeels beantwoord. Dan zou ik nu graag verdergaan: wat ziet u als de grootste uitdagingen voor steden en beleidsmakers bij de implementatie van autonome voertuigen?

R: Ik denk dat een grote uitdaging erin ligt om het hele proces onder controle te houden. Als er veel private spelers opkomen, zoals bijvoorbeeld Uber met een autonome taxidienst, is dat op zich positief, maar steden moeten ook invloed behouden over hoe die uitrol gebeurt. Als steden daar geen rol in opnemen, kan het zijn dat mobiliteit meer en meer georganiseerd wordt door private partijen, wat kan leiden tot een taxi-model dat het openbaar vervoer verzwakt. Dat is niet wenselijk, want dan worden mensen weggetrokken van het collectieve vervoer naar individuele robottaxi's, wat de algemene mobiliteit niet zal verbeteren. Daarom onderzoekt bijvoorbeeld De Lijn in Vlaanderen momenteel actief hoe ze kunnen anticiperen op deze transitie. Ze willen ervoor zorgen dat autonome oplossingen een aanvulling worden op openbaar vervoer en niet de klassieke diensten volledig verdringen. Er wordt onder andere gekeken naar het vervangen van systemen zoals de belbus, die vandaag economisch niet rendabel is. Een autonome shuttle kan bijvoorbeeld zonder chauffeur rijden en gemakkelijker toegankelijk zijn voor gebruikers, zonder dat je lang op voorhand moet reserveren. Zo kan je mensen sneller en flexibeler naar openbaar vervoershaltes brengen. Dat is de rol die steden en openbaar vervoersmaatschappijen nu moeten opnemen: actief sturen, zodat autonome mobiliteit collectieve mobiliteit versterkt in plaats van ondermijnt.

E: Hoe denkt u dat autonome voertuigen de capaciteit van wegen en vervoersnetwerken zullen beïnvloeden? En hangt dat af van het scenario dat zich zal uitspelen?

R: Ja, absoluut. Alles hangt af van welk scenario werkelijkheid wordt. Als de transitie enkel gebeurt van privévoertuigen naar privé autonome voertuigen, dan zal de verkeersdrukte verergeren. Veel studies tonen aan dat in dat geval het aantal vehicle kilometres travelled (VKT) fors toeneemt. In positieve scenario's, waarbij voertuigen gedeeld worden, daalt het aantal voertuigkilometers net. Dat maakt een enorm verschil. Daarom is het zo belangrijk om nu al beleidsmatig te sturen en ervoor te zorgen dat we richting gedeelde modellen evolueren.

E: Dus de komst van autonome voertuigen kan zowel leiden tot meer als minder verkeerscongestie, afhankelijk van hoe het uitgerold wordt?

R: Ja, inderdaad. Je kan daar nu nog geen definitieve voorspelling over doen. Het hangt helemaal af van welk gebruiksmodel dominant wordt.

E: Oké. Dan verder over milieu-impact en duurzaamheid: welke invloed denkt u dat autonome voertuigen zullen hebben op energieverbruik en uitstoot?

R: Idealiter zijn autonome voertuigen elektrisch aangedreven, en in de meeste gevallen wordt daar in de literatuur ook vanuit gegaan. Elektrificatie heeft uiteraard een positieve impact op de uitstoot. Maar als je echt volledig duurzaam wil zijn, moet je het hele proces bekijken: van de productie van het voertuig tot de recyclage ervan — een volledige life cycle analysis dus. Je moet niet alleen rekening houden met het energieverbruik tijdens het gebruik, maar ook met de productieomstandigheden van bijvoorbeeld batterijen. Denk aan het delven van kobalt in soms problematische omstandigheden. Er wordt veel onderzoek gedaan naar duurzamere batterijtechnologieën die minder afhankelijk zijn van materialen zoals kobalt. Daarnaast moeten we ook kijken naar de extra sensoren en hardware die nodig zijn voor autonome voertuigen. Die hebben ook een ecologische voetafdruk die in rekening gebracht moet worden.

E: Ja, ik heb bijvoorbeeld gelezen dat Tesla vooral inzet op camera's en minder op extra hardware zoals radar, terwijl andere bedrijven daar juist wel sterk op inzetten.

R: Ja, klopt. Tesla gelooft sterk dat camera's voldoende zijn, maar ze zijn daar vrij uniek in. De meeste andere spelers denken dat je een combinatie van sensortechnologieën nodig hebt om veilig autonoom te kunnen rijden.

E: Oké. Dus ziet u autonome voertuigen eerder als een kans of als een bedreiging voor duurzame mobiliteit?

R: Ja, ik zie ze vooral als een kans, zeker omdat gedeeld gebruik gemakkelijker wordt. Daardoor kunnen we echt naar een duurzamere toekomst evolueren. Wel moeten we ervoor zorgen dat autonome voertuigen de actieve mobiliteit — zoals te voet gaan en fietsen — niet verdringen. Dat aspect is heel belangrijk om mee te nemen in de verdere uitrol. Het zou immers kunnen dat actieve mobiliteit onder druk komt te staan, en dat moeten we vermijden.

E: Oké. Dan over de economische voordelen of nadelen van autonome voertuigen: hoe ziet u die?

R: Dat is een heel breed thema. We zijn onlangs gestart met een nieuw Europees project dat specifiek kijkt naar de economische impact van autonoom vervoer op jobs. Het gaat dan niet alleen over chauffeurs, maar over het volledige ecosysteem: er zijn veel jobs die zullen moeten veranderen of die kunnen verdwijnen. Daarom is het belangrijk om nu al te anticiperen en mensen tijdig om te scholen of te trainen. Aan de andere kant zijn er ook veel economische kansen. Serviceproviders zoals Uber kunnen nieuwe businessmodellen ontwikkelen. Ook voor autobouwers liggen er opportuniteiten, al moeten zij zich tijdig aanpassen aan deze nieuwe markt. Bovendien kan autonoom vervoer op sociaal vlak een positief effect hebben: het kan de bereikbaarheid verbeteren voor mensen die nu moeilijk toegang hebben tot goede mobiliteit.

E: Ja. Oké. Dan wil ik graag overgaan naar het thema veiligheidsgevoel en ongevallen. Hoe schat u het veiligheidsgevoel in van gebruikers en andere weggebruikers?

R: We hebben daar meerdere studies en enquêtes rond gedaan. Gebruikers die nog geen ervaring hebben met autonome voertuigen zijn vaak sceptisch en voelen zich vooraf onveilig. Maar wanneer ze effectief een rit hebben gemaakt, verandert hun perceptie vaak sterk in positieve zin. De ervaring zelf speelt een cruciale rol in het vertrouwen. Dat zagen we ook tijdens testritten met autonome voertuigen in de Verenigde Staten: pas na het meemaken van een rit, zagen mensen in dat het voertuig eigenlijk heel goed functioneert. Toch blijft er een aspect dat moeilijker ligt: mensen kunnen zich in een autonome bus minder veilig voelen als er geen bestuurder aanwezig is, zeker 's avonds of op minder drukke momenten. Dit is vergelijkbaar met het gevoel dat reizigers soms hebben in een lege trein zonder conducteur. Die sociale veiligheid is dus een aandachtspunt bij de uitrol van autonome voertuigen.

E: Wat zijn de grootste veiligheidsrisico's die u ziet bij de implementatie?

R: De grootste risico's liggen in de overgangsperiode. Zolang autonome voertuigen samen met traditionele voertuigen en zwakke weggebruikers de weg delen, zijn er onvoorspelbare situaties. Zeker met zwakke weggebruikers — voetgangers en fietsers — die onverwacht gedrag kunnen vertonen, is het belangrijk dat autonome voertuigen snel en correct reageren. We hebben dat zelf gezien bij ons pilootproject op de campus van Jette. De autonome shuttles reden traag, maar daardoor gingen andere weggebruikers hen agressief inhalen, wat juist nieuwe veiligheidsrisico's creëerde.

E: Oké. En welke technologische en beleidsmaatregelen zouden genomen moeten worden om die veiligheid te verbeteren?

R: Er moet absoluut gezorgd worden voor goede, aangepaste infrastructuur. Bijvoorbeeld aparte rijstroken voor autonome voertuigen kunnen helpen om conflicten te vermijden. Daarnaast moet de infrastructuur duidelijk aangeven waar autonome voertuigen rijden en moeten voetgangers en

fietzers zich daar ook bewust van zijn. Verder is het essentieel dat alle autonome voertuigen streng worden getest en gehomologeerd voordat ze op de openbare weg worden toegelaten.

E: Dat laatste sluit inderdaad aan bij het psychologische en sociale aspect. Hoe schat u de algemene perceptie van het publiek ten opzichte van autonome voertuigen in?

R: Er is een duidelijk verschil tussen generaties. Oudere generaties zijn veel sceptischer en hebben minder vertrouwen in de technologie, terwijl jongere mensen veel meer openstaan voor autonome voertuigen. Zoals ik eerder al zei: directe ervaring met autonome voertuigen is cruciaal om percepties positief te beïnvloeden. Zelfs kleine ervaringen, zoals een bestuurderloze metro nemen in Parijs, kunnen een groot verschil maken in het vertrouwen van mensen. Daarom zijn pilootprojecten en sensibiliseringscampagnes absoluut noodzakelijk om maatschappelijke acceptatie op te bouwen. Maar het zal tijd kosten: vertrouwen groeit niet van vandaag op morgen. Er moeten zeker initiatieven genomen worden om mensen vertrouwd te maken met deze technologie.

E: Klopt. Ik heb zelf ook eens een testritje gemaakt met een Tesla, twee jaar geleden in Hasselt. Ik had toen de autonome functie geactiveerd en vond het een heel interessante ervaring, vooral op de snelweg.

R: Ja, dat geloof ik zeker.

E: Welke factoren spelen volgens u een rol in het vertrouwen of wantrouwen tegenover autonome voertuigen?

R: Leeftijd speelt een grote rol. Ook gender blijkt een factor te zijn: mannen zijn over het algemeen iets technologischer ingesteld dan vrouwen, zo blijkt toch uit onderzoek. Verder speelt opleidingsniveau een belangrijke rol: hogeropgeleiden staan gemiddeld genomen positiever tegenover nieuwe technologieën dan lageropgeleiden.

E: Oké. U had het eerder al over sensibilisering. Mijn volgende vraag was: welke strategieën kunnen nog ingezet worden?

R: Ja, gewoon informatieve momenten kunnen heel interessant zijn, bijvoorbeeld infosessies of documentaires op televisie. Maar het allerbelangrijkste blijven toch pilootprojecten, verspreid over verschillende locaties. In Brussel zijn er bijvoorbeeld al een aantal geweest en ook in Terhills, vlakbij Hasselt, rijden autonome shuttles. Door mensen effectief de kans te geven om het zelf te ervaren, kan je veel vertrouwen opbouwen. Belangrijk daarbij is natuurlijk wel dat die tests positief verlopen en zonder incidenten.

E: Ja, infosessies lijken mij inderdaad ook een goede optie. Mijn laatste vraag hierover: zijn er nog specifieke bevolkingsgroepen die sneller autonome voertuigen zouden accepteren?

R: Dat hangt een beetje af van de studie. Soms worden verbanden gevonden, soms niet. Leeftijd is wel een duidelijke factor: jongere mensen accepteren de technologie sneller dan ouderen. Ook studenten zijn vaak meer open-minded. Mensen die nu al regelmatig gebruik maken van openbaar vervoer staan ook meer open voor gedeelde autonome voertuigen, terwijl mensen die sterk gehecht zijn aan hun privéwagens meer weerstand vertonen. Daarom is het belangrijk om die groepen geleidelijk mee te krijgen in de mindset van minder privéwagengebruik.

E: Oké. Dan wil ik afsluiten met uw toekomstvisie: hoe ziet u de rol van autonome voertuigen binnen mobiliteit over 10 tot 20 jaar?

R: Vanuit onze onderzoeksgroep sluiten we aan bij de visie van Europa: autonome voertuigen moeten bekeken worden binnen een breder mobiliteitskader. In de eerste plaats moeten onnodige verplaatsingen vermeden worden. Als een verplaatsing toch nodig is, moet gekeken worden of die actief kan gebeuren (te voet of met de fiets). Pas als dat niet mogelijk is, kunnen autonome voertuigen een rol spelen, vooral als aanvulling op openbaar vervoer. Individuele robottaxi's of privé autonome voertuigen zouden pas de allerlaatste optie mogen zijn. Duurzame mobiliteit begint dus bij bewuste keuzes.

E: Ja, maar doordat autonome voertuigen mobiliteit toegankelijker maken, zal de vraag ook stijgen.

R: Klopt. Daarom zullen beleidsmaatregelen belangrijk zijn, maar er is ook nood aan intrinsieke motivatie. De echte verandering begint bij de gebruiker zelf. Ik ben wel hoopvol, want ik zie dat de huidige generatie studenten zich daar bewuster van is dan vroeger.

E: Zijn er nog andere aspecten rond autonome voertuigen die u belangrijk vindt om te vermelden?

R: Nee, ik denk dat we via uw vragen het onderwerp goed gecoverd hebben. Dat is prima zo.

E: Oké. Dan wil ik u heel hartelijk bedanken voor uw deelname.

R: Graag gedaan.

E: Als u wilt, kan ik u een kopie sturen zodra mijn thesis af is.

R: Ja, graag.

E: Oké, dan wens ik u nog een fijne dag!

R: Dankjewel, voor jou ook. Veel succes verder!

E: Dankjewel. Dag!

R: Dag!

Bijlage E: Transcriptie interview Bert van Wee (Emeritus Hoogleraar Transportbeleid TU Delft)

Aanwezigen: Erald Lika (E), Bert van Wee (B)

Datum: 20 maart 2025, 9:00

Duur: 50 minuten

Online via Microsoft Teams

B: Goedemorgen.

E: Goedemorgen.

E: Ik zal eerst kort toelichten waar mijn onderzoek over gaat. Mijn naam is Erald Lika, ik studeer Handelswetenschappen aan de Universiteit Hasselt, met een specialisatie in Supply Chain Management. Voor mijn masterproef doe ik onderzoek naar de implementatie van geautomatiseerde voertuigen, met specifieke aandacht voor de impact op het milieu, regelgeving en de ruimtelijke organisatie en infrastructuur. Met dit interview probeer ik inzichten van experts zoals uzelf te verzamelen om mijn onderzoek te versterken. Het interview zal ongeveer een uur duren. Mag ik ook uw toestemming vragen om het gesprek op te nemen?

B: Ja, prima.

E: Dank u. Dan zou ik graag beginnen met enkele vragen over uzelf en uw professionele ervaring rond geautomatiseerde voertuigen.

B: Ik ben Bert van Wee. Ik heb lange tijd gewerkt aan de Technische Universiteit Delft, waar ik hoogleraar Transportbeleid was. Sinds twee maanden ben ik officieel met pensioen, maar ik begeleid nog steeds promovendi en doe nog enkele andere taken. Ik hou me bezig met alles wat vliegt, vaart en rijdt, zolang het van belang is voor lange termijn strategisch beleid. Geautomatiseerde voertuigen zijn een klein onderdeel van mijn werk geweest. Ik heb onder andere onderzoek gedaan naar de vraag of experts in de loop der jaren van mening zijn veranderd over geautomatiseerde voertuigen, en naar de maatschappelijke implicaties van deze technologie. Beide studies deed ik samen met Dimitris Milakis. Daarnaast heb ik samen met Dimitris en Nicolas Termote een boek geredigeerd binnen de serie Advances in Transport Policy and Planning, dat literatuurstudies bevat over verschillende aspecten van geautomatiseerde voertuigen. De focus lag daarbij vooral op personenvervoer en auto's, hoewel er ook een hoofdstuk over geautomatiseerd varen is opgenomen.

E: Oké, interessant. Mijn onderzoek focust zich ook specifiek op personenvervoer, dus dat sluit goed aan.

B: Ja.

E: Dan wil ik nu graag overgaan naar de definities en toepassingen van geautomatiseerde voertuigen. Hoe zou u geautomatiseerde voertuigen definiëren binnen uw vakgebied?

B: Geautomatiseerde voertuigen zijn voertuigen waarbij een deel of alle rijtaken worden overgenomen door technologie, in plaats van door een menselijke bestuurder. Dat kan in verschillende gradaties: je kent waarschijnlijk de SAE-niveaus wel, van 0 tot en met 5, afhankelijk van hoeveel taken zijn overgenomen en onder welke omstandigheden. Je kunt geautomatiseerde voertuigen natuurlijk ook vinden in andere domeinen dan alleen wegvervoer, zoals luchtvaart en metro's, waar we al langer vormen van automatisering kennen.

E: Oké. Wat ziet u als de meest veelbelovende toepassingen van geautomatiseerde voertuigen?

B: In de luchtvaart is al veel geautomatiseerd, en dat proces is erg succesvol. Bij railvervoer, zoals metro's, is automatisering ook al lang gangbaar. Voor wegverkeer verwacht ik dat automatisering vooral op snelwegen veelbelovend is, omdat daar minder interactie is met andere weggebruikers. In drukke stedelijke gebieden, met veel voetgangers en fietsers, ligt dat veel moeilijker. Toepassingen op snelwegen of andere langeafstandsroutes lijken dus het meest realistisch op korte termijn. Als volledig deur-tot-deur geautomatiseerd vervoer ooit werkelijkheid wordt, kan dat het mobiliteitssysteem fundamenteel veranderen. Maar of en wanneer dat zal gebeuren, blijft onzeker.

E: Oké. Welke sectoren of markten zullen volgens u als eerste breed gebruik maken van geautomatiseerde voertuigen?

B: Zoals gezegd zijn er in de luchtvaart en bij railvervoer al veel toepassingen. Ik verwacht ook veel van geautomatiseerd varen, vooral in de zeevaart en misschien in de binnenvaart, al is die markt kleiner. Voor wegvervoer zie je in de VS al initiatieven zoals Waymo. In landen waar de politieke en maatschappelijke context ondersteunend is, zoals de VS en China, zal brede implementatie waarschijnlijk sneller gebeuren dan in België of Nederland. De verschillen zijn er niet alleen door het maatschappelijk klimaat, maar ook door de juridische aspecten, zoals aansprakelijkheid. Bovendien zijn de vervoerssystemen in landen als de VS en China overzichtelijker dan in stedelijke gebieden zoals Brussel of Amsterdam. Daarom verwacht ik niet dat België of Nederland voorop zullen lopen bij de implementatie van geautomatiseerd wegvervoer.

E: Wat bedoelt u precies met "meer overzichtelijker"?

B: In Amerika heb je minder fietsers, minder voetgangers en meer snel verkeer, zoals personenauto's, bestelwagens en vrachtwagens. De wegen zijn breder en de stedelijke structuur is ruimer opgezet. Daardoor zijn er minder complicaties bij het toelaten van zelfrijdende voertuigen dan bijvoorbeeld in het centrum van Amsterdam of Antwerpen.

E: Oké, duidelijk. Dan wil ik nu overgaan naar de impact op ruimtelijke organisatie en infrastructuur. Hoe denkt u dat geautomatiseerde voertuigen de stedelijke infrastructuur zullen beïnvloeden?

B: Dat is sterk contextafhankelijk. In het meest extreme scenario is er geen impact, omdat steden beslissen dat voertuigen zich moeten aanpassen aan de bestaande infrastructuur, niet omgekeerd. In andere scenario's zou infrastructuur wél kunnen veranderen. Een probleem is bijvoorbeeld dat voetgangers misschien vaker zomaar oversteken, omdat ze weten dat een zelfrijdende auto wel zal stoppen. Het zou kunnen dat er infrastructuur wordt ontwikkeld om voetgangersgedrag te monitoren en misbruik te traceren. Ook kan ik me voorstellen dat bepaalde wegen enkel toegankelijk worden voor bepaalde types voertuigen: bijvoorbeeld aparte infrastructuur voor wandelen en fietsen, en andere infrastructuur voor geautomatiseerde voertuigen. Zeker in de transitiefase lijkt het logisch om zelfrijdende voertuigen eerst alleen op hoofdverbindingen toe te laten. Voor kleine straatjes zouden bestuurders dan weer zelf de controle moeten overnemen.

E: Ziet u een verandering in hoe steden en vervoersnetwerken worden ontworpen door de adoptie van autonome voertuigen?

B: Ja, ik kan mij voorstellen dat steden netwerken aanduiden waar zelfrijdende voertuigen wel of niet mogen rijden, en dat deze informatie wordt gedeeld met de leveranciers van deze voertuigen. In landen als Nederland en België verwacht ik niet veel bereidheid om steden grootschalig aan te passen aan zelfrijdende voertuigen, zoals bijvoorbeeld grote parkeerfaciliteiten aan de stadsrand. Dat zou eerder gebeuren in de Verenigde Staten of China.

E: Oké. Dan over de uitdagingen voor steden en beleidsmakers bij de implementatie.

B: Een grote uitdaging is inderdaad het gedrag van mensen controleren. Maar nog belangrijker is de overgang naar niveau 3 van automatisering: voertuigen nemen de controle over, maar de bestuurder blijft verantwoordelijk en moet opletten. Psychologen waarschuwen dat mensen dat niet goed kunnen volhouden en afgeleid raken. Als daar ongelukken uit voortkomen, kan dat het publieke vertrouwen ernstig schaden en de acceptatie van zelfrijdende voertuigen vertragen. Die Level 3-fase moet dus zo kort mogelijk duren. Daarnaast is een grote uitdaging dat steden zich moeten voorbereiden op verschillende scenario's. Ze moeten adaptief beleid ontwikkelen: als bijvoorbeeld blijkt dat zelfrijdende voertuigen vooral gebruikt worden om mensen naar de stadscentra te brengen waarna de voertuigen zichzelf parkeren, dan kan dat ontmoedigd worden. Omgekeerd, als de voertuigen vooral mobiliteit bieden aan doelgroepen die nu beperkt zijn — zoals slechtzienden — dan kunnen ze eerder gestimuleerd worden. Steden moeten dus nu al nadenken over "wat als"-scenario's en voorbereid zijn om flexibel beleid te voeren.

E: Ja, duidelijk. Dat beantwoordt ook mijn volgende vraag over hoe overheden zich kunnen voorbereiden. Dan, hoe denkt u dat geautomatiseerde voertuigen de capaciteit van wegen zullen beïnvloeden?

B: Daar raad ik je zeker aan om het boek *Advances in Transport Policy and Planning* te raadplegen. In eerdere jaren waren onderzoekers optimistisch: voertuigen zouden dichterbij elkaar kunnen rijden door kortere volgfstanden (bijvoorbeeld een halve seconde), wat de capaciteit zou verhogen. Maar recentere studies zijn minder optimistisch. In de beginfase zullen de volgfstanden waarschijnlijk

groter zijn uit voorzichtigheid, wat juist de capaciteit verlaagt. Bovendien is de bottleneck niet altijd de rechte rijstroken, maar vooral de knooppunten. Zelfs als je op rechte stukken de capaciteit verhoogt, lossen de knelpunten bij op- en afritten of complexe kruispunten dat voordeel grotendeels weer op. Daar komt nog bij dat als autoritten aantrekkelijker worden — bijvoorbeeld doordat je tijdens het rijden kunt werken of ontspannen — mensen wellicht langere afstanden gaan rijden, of weer vaker in de spits reizen. Dat genereert extra verkeer, wat het effect op congestie deels of volledig kan neutraliseren. Tien jaar geleden dachten we nog dat files zouden verminderen, maar nu zijn de verwachtingen veel minder optimistisch.

E: Ja, interessant. Daarmee sluit ik het deel over ruimtelijke organisatie af. Nog kort: zal de komst van geautomatiseerde voertuigen leiden tot een afname of een toename van verkeerscongestie?

B: Dat is een terechte vraag. Volgens onze studies komen we uit op een brede bandbreedte. Als middenwaarde kan je denken aan ongeveer 10% minder congestie, maar de marge is groot: het kan 20% meer of 20% minder worden. Een grote, spectaculaire afname van files is echter niet waarschijnlijk.

E: Oké. Dan wil ik nu nog even verder naar het milieulijk: welke impact denkt u dat geautomatiseerde voertuigen zullen hebben op energieverbruik en uitstoot?

B: Ook daar zijn de effecten dubbel. Enerzijds kan het energieverbruik toenemen doordat meer mensen gaan autorijden. Anderzijds zullen geautomatiseerde voertuigen waarschijnlijk zuiniger rijden — minder snelheidsovertredingen, minder agressief gedrag — waardoor de uitstoot per kilometer kan dalen. Als het gebruik van deelauto's toeneemt, kan dat ook positief zijn: mensen kunnen dan voertuigen kiezen die beter afgestemd zijn op hun specifieke verplaatsingsbehoefte. Maar de schattingen in de literatuur lopen sterk uiteen: sommigen voorspellen een flinke daling van de uitstoot, anderen zien zelfs een toename.

E: Dus er is nog geen vast antwoord.

B: Nee, er is zeker geen vast antwoord. Alle antwoorden over de impact van autonome voertuigen zijn omgeven door grote onzekerheid en brede marges.

E: Oké, dat is duidelijk. Ziet u geautomatiseerde voertuigen eerder als een kans of als een bedreiging voor duurzame mobiliteit?

B: Dat hangt af van hoe je duurzaamheid definieert. Kijk je alleen naar milieu, dan zijn er zowel plussen als minnen. Kijk je ook naar de sociale dimensie van mobiliteit — het "people, planet, profit"-perspectief — dan kan het voor sommige mensen een enorme vooruitgang betekenen. Bijvoorbeeld mensen zonder rijbewijs op het platteland kunnen door autonome voertuigen ineens veel beter mobiel worden. Aan de andere kant bestaat het risico dat het openbaar vervoer verschaalt, wat nadelig is voor mensen zonder auto.

E: Oké. Welke maatregelen zijn volgens u nodig om ervoor te zorgen dat geautomatiseerde voertuigen bijdragen aan emissiereductie en duurzaam transport?

B: Noodzakelijk is een normatief begrip, maar als overheden bijvoorbeeld geen extra infrastructuur of parkeerfaciliteiten creëren voor zelfrijdende auto's, dan kunnen ze een toename van autogebruik beperken. Daarnaast kunnen ze inzetten op gedeelde autonome voertuigen in plaats van privébezit. Dat vermindert de parkeerdruk en verbetert de stedelijke leefomgeving. Ook omdat deelvoertuigen efficiënter ingezet worden: auto's staan dan minder lang stil, wat indirect ook de energieverbruik en emissies bij de productie van voertuigen vermindert. Maatregelen zoals strenger parkeerbeleid — bijvoorbeeld betaald parkeren, zelfs in woonwijken — kunnen autobezit verder ontmoedigen. Op die manier kan je zorgen dat de milieu-impact beperkt blijft.

E: Welke economische voordelen of nadelen verwacht u van de komst van autonome voertuigen?

B: Ik was een paar jaar geleden bij een bijeenkomst van de Europese Commissie over autonome voertuigen. Daar waren 100 deelnemers: 97 lobbyisten en 3 wetenschappers. De lobbyisten voorspelden massale werkloosheid onder vrachtwagen- en buschauffeurs. Maar dat is overdreven: momenteel zijn er al tekorten aan chauffeurs. Bovendien past de economie zich aan: kostenbesparingen door automatisering leiden tot goedkopere producten, waardoor geld vrijkomt dat elders in de economie wordt uitgegeven, wat weer nieuwe werkgelegenheid creëert. De lange termijn impact op werkloosheid zal vermoedelijk beperkt zijn, al zal het wel zwaar zijn voor oudere werknemers die zich moeilijk kunnen omscholen.

E: Oké, duidelijk. Ziet u kansen voor nieuwe bedrijfsmodellen en economische sectoren door de komst van autonome voertuigen?

B: Ja, zeker. De taximarkt zal drastisch veranderen, want chauffeurs zijn niet meer nodig. Ook verwacht ik nieuwe bedrijfsmodellen rond gedeelde autonome voertuigen. Daarnaast zie ik kansen voor Mobility as a Service (MaaS). Bijvoorbeeld: iemand gebruikt eerst een gedeeld autonoom voertuig voor het voor- en natraject, en de trein voor de lange afstand. Voor de MaaS-markt biedt autonoom rijden zeker extra mogelijkheden.

E: Oké. Dan over naar het veiligheidsgevoel en ongevallen. Hoe schat u het veiligheidsgevoel van gebruikers en andere weggebruikers in met betrekking tot geautomatiseerde voertuigen?

B: Uit onderzoek blijkt dat mensen risico's veel minder acceptabel vinden als ze zelf niet in controle zijn. Stel dat zelfrijdende voertuigen de helft minder kans op een ongeval hebben dan menselijke bestuurders, dan nog zullen veel mensen zich minder veilig voelen in een autonoom voertuig. Er is ooit een studie geweest die suggereerde dat er een factor 10 verschil zit tussen het veiligheidsgevoel wanneer je zelf controle hebt en wanneer je dat niet hebt. Dat verklaart ook waarom sommige mensen met de auto naar Barcelona rijden in plaats van te vliegen, ondanks dat vliegen veiliger is.

E: Oké, duidelijk. Wat zijn volgens u de grootste veiligheidsrisico's bij geautomatiseerde voertuigen?

B: Een belangrijk risico is de publieke acceptatie. Stel dat het aantal dodelijke slachtoffers met zelfrijdende voertuigen gehalveerd wordt — in Nederland zijn er nu zo'n 700 verkeersdoden per jaar, in België zelfs nog iets meer — dan zouden er nog steeds gemiddeld twee dodelijke slachtoffers per dag zijn. Elke keer als een zelfrijdende auto een ongeluk veroorzaakt, zal dat breed uitgemeten worden in de media, bijvoorbeeld "Kind doodgereden door zelfrijdende taxi". Zelfs als het systeem veiliger is dan menselijke bestuurders, zullen mensen zich daartegen keren. Een ander risico is voetgangers en fietsers die denken: "Dat voertuig stopt toch wel," en daardoor onvoorzichtig gedrag vertonen. Tot slot vormt de overgangsfase naar level 3 automatisering ook een groot risico: bestuurders zijn dan niet meer actief betrokken, maar blijven wel verantwoordelijk.

E: Ja, dat klopt. Vooral dat level 3-probleem lijkt mij gevaarlijk, omdat de bestuurder nog moet opletten maar dat vaak niet meer echt doet.

B: Precies.

E: Zijn er reeds bekende incidenten waarbij geautomatiseerde voertuigen gevaarlijke situaties hebben veroorzaakt?

B: Ja, er zijn enkele voorbeelden bekend, vooral uit de Verenigde Staten. Er zijn incidenten gemeld met Tesla's die ongelukken veroorzaakten. Ook zijn er situaties geweest waarbij een autonome auto een plastic zak over de weg aanzag voor een persoon en plotseling vol in de remmen ging. Die incidenten zijn gerapporteerd in de media. Hoe groot de risico's exact zijn, durf ik niet te zeggen, maar incidenten zijn er zeker.

E: Oké. Welke technologische of beleidsmaatregelen zouden genomen moeten worden om de veiligheid te verbeteren?

B: Belangrijk is om de fase van level 3 automatisering zo kort mogelijk te houden. Misschien moeten we langer doorgaan met level 2 en eerder overstappen naar level 4. Daarnaast zou een gefaseerde invoering verstandig zijn: begin op snelwegen, waar de omgeving voorspelbaarder is, en laat autonome voertuigen pas later toe in stedelijke gebieden. Bovendien: leer van het buitenland. We hoeven niet in elk land het wiel opnieuw uit te vinden; we kunnen veel leren van ervaringen elders. Ik verwacht ook dat fabrikanten en softwareontwikkelaars lessen uit het buitenland zullen meenemen.

E: Oké. Dan over naar de regelgevende uitdagingen. Wat zijn volgens u de grootste regelgevende belemmeringen voor de implementatie van zelfrijdende voertuigen?

B: Een belangrijke belemmering is het gebrek aan geharmoniseerde regelgeving binnen Europa. Fabrikanten moeten nu in elk land met andere regels rekening houden, wat de introductie van zelfrijdende voertuigen vertraagt.

E: Oké. Hoe moeten wetten en aansprakelijkheidsregels evolueren om zelfrijdende auto's veilig en verantwoord te integreren?

B: Daar zijn juristen beter in dan ik. Wie is verantwoordelijk bij een ongeluk: de bestuurder, de fabrikant, de softwareleverancier? Ik weet dat er wetenschappelijke papers over bestaan, maar zelf ben ik geen expert in juridische kwesties.

E: Dat is geen probleem. Ik besteed daar ook een deel van mijn literatuurstudie aan.

B: Mooi.

E: Hoe belangrijk is de internationale harmonisatie van regelgeving?

B: Zeer belangrijk. Ten eerste wordt het voor fabrikanten makkelijker als ze niet met tientallen verschillende sets regels te maken hebben. Ten tweede is het belangrijk voor grensoverschrijdend verkeer: als een Belg naar Nederland of Duitsland rijdt, moet het voertuig zich probleemloos kunnen aanpassen aan de lokale regels. Harmonisatie is dus essentieel.

E: Oké. Ziet u momenteel initiatieven in uw sector of land om regelgeving aan te passen?

B: In Nederland hoor ik daar momenteel weinig over. Onze regering heeft momenteel andere prioriteiten: stikstofcrisis, vluchtelingencrisis, aardbevingen in Groningen. Regelgeving rond autonome voertuigen staat duidelijk niet bovenaan de agenda.

E: Heeft u zicht op de situatie in België?

B: Nee, niet echt. Ik vermoed dat mensen als Mario Cools daar veel beter zicht op hebben.

E: Oké. Dan over naar de psychologische en sociale acceptatie. Hoe schat u de perceptie van het brede publiek ten opzichte van geautomatiseerde voertuigen?

B: Er zijn voor- en nadelen. Sommige mensen vinden het prettig dat ze niet meer zelf hoeven te rijden of dat ze mobieler worden. Maar als het om risico's gaat, accepteren mensen die bij zelfrijdende voertuigen minder makkelijk dan bij klassieke voertuigen. Ook speelt mee dat autonome voertuigen waarschijnlijk duurder zullen zijn, wat kan leiden tot het beeld dat alleen hogere inkomens ervan profiteren. Dat kan de maatschappelijke acceptatie negatief beïnvloeden.

E: Oké. Ik had nog een vraag: denkt u dat bepaalde bevolkingsgroepen geautomatiseerde voertuigen sneller zullen accepteren dan anderen?

B: Ja. Bij privébezit zullen vooral mensen met hogere inkomens sneller overstappen, omdat deze voertuigen duurder zijn. In de zakelijke markt zal de acceptatie ook sneller verlopen, omdat mensen hun tijd productief kunnen gebruiken tijdens het rijden. Daarnaast zijn er groepen die nu niet kunnen

rijden — bijvoorbeeld blinden — die veel baat kunnen hebben bij zelfrijdende voertuigen, zeker als het gaat om gedeeld gebruik in plaats van privébezit. Op het platteland, waar openbaar vervoer vaak beperkt is, zie ik ook kansen voor snellere acceptatie.

E: Oké. En welke factoren spelen een rol in het vertrouwen of wantrouwen tegenover zelfrijdende auto's?

B: De vraag of het voertuig in publieke of private handen is speelt een rol, net als de herkomst van de fabrikant. Mensen hebben bijvoorbeeld minder vertrouwen in Chinese bedrijven vanwege zorgen over dataveiligheid. Ook de reputatie van de aanbieder is belangrijk: bekende, betrouwbare merken zullen sneller vertrouwen krijgen dan nieuwe, onbekende spelers. Verder zal ook de manier waarop bedrijven omgaan met incidenten belangrijk zijn: als ze verantwoordelijkheid nemen bij een fout, versterkt dat het vertrouwen.

E: Oké. Welke strategieën kunnen worden ingezet om de maatschappelijke acceptatie te bevorderen?

B: Goede regelgeving rond privacy en aansprakelijkheid helpt. Ook kan communicatie ondersteunend werken, bijvoorbeeld door te laten zien dat de technologie al uitgebreid getest is in andere landen. Daarnaast helpt het om duidelijk te maken dat mensen altijd de mogelijkheid behouden om keuzes terug te draaien als het experiment niet goed uitpakt. Dat principe is eerder succesvol toegepast bij bijvoorbeeld road pricing in steden.

E: Oké. Dan wil ik afronden met een stukje over de toekomst. Hoe ziet u de rol van geautomatiseerde voertuigen binnen mobiliteit over 10 tot 20 jaar?

B: Ik verwacht dat in Europa de vooruitgang traag zal verlopen. Op snelwegen verwacht ik binnen 10 tot 20 jaar wel hogere automatiseringsniveaus. In steden zie ik op korte termijn weinig vooruitgang: het stedelijke wegsysteem is daarvoor te complex. Of volledig zelfrijdende voertuigen op alle wegen haalbaar zijn binnen 20 jaar, betwijfel ik sterk.

E: Oké. En welke technologische en beleidsmatige ontwikkelingen moeten er gebeuren om zelfrijdende voertuigen breed te kunnen inzetten?

B: Belangrijk is om realistisch te blijven: het is nog niet zeker of we willen dat zelfrijdende voertuigen overal komen. Technologisch moet vooral gewerkt worden aan uitzonderlijke situaties, zoals slecht weer, onverwachte obstakels en complexe stedelijke interacties. Daarnaast moeten ethische dilemma's — zoals in het bekende trolleyprobleem — worden opgelost. Bijvoorbeeld: wat moet een voertuig doen als het moet kiezen tussen het beschermen van inzittenden of voetgangers? Er moet duidelijke regelgeving komen over hoe software moet handelen in zulke situaties.

E: Ja, dat ethische aspect is inderdaad heel interessant.

B: Een andere nuttige denkoefening is de “counterfactual check”: stel dat we al zelfrijdende voertuigen hadden en daardoor de verkeersslachtoffers gehalveerd waren — zou je dan echt terug willen naar de oude situatie? Veel mensen die in eerste instantie tegen zijn, veranderen van mening als je hen deze vraag stelt. Het is belangrijk om bij discussies over technologische veranderingen altijd die tegenvraag te stellen.

E: Ja, dat zet mensen echt aan het denken. Als u niks meer extra toe te voegen heeft, dan denk ik dat we klaar zijn.

B: Even kort: er is veel literatuur beschikbaar. Ik raad je aan om zeker eens te kijken naar het boek binnen de serie *Advances in Transport Policy and Planning*, waar ik samen met Dimitris Milakis en Nicolas Thomopoulos aan heb gewerkt. De hoofdstukken bevatten uitgebreide literatuurstudies over veel van de onderwerpen waar je vragen over stelde. Ze zijn ongeveer vijf jaar oud, maar nog steeds relevant.

E: Oké. Wat was precies de titel?

B: Het boek heet *Policy Implications of Autonomous Vehicles*. De serie waarin het is verschenen heet *Advances in Transport Policy and Planning*, volume 5. Misschien heeft je universiteitsbibliotheek een exemplaar. Ze zijn duur om zelf aan te schaffen, maar je kunt het mogelijk online of via de bibliotheek raadplegen.

E: Ik zal even zoeken. Ja, ik denk dat ik het gevonden heb.

B: Mooi.

E: Top, dankjewel. En ook bedankt voor het interview. Ik vond het heel interessant wat u allemaal verteld heeft. Dit gaat zeker bijdragen aan mijn onderzoek.

B: Graag gedaan. Misschien nog een tip: je zou kunnen overwegen om een conceptueel model te maken, bijvoorbeeld een schema met vakken en pijlen. Denk na over hoe zelfrijdende voertuigen effecten hebben op reistijd, kosten, mobiliteitsgedrag, milieu, veiligheid, ruimtelijke ordening, enzovoort. Zelf heb ik samen met Dimitris Milakis het zogeheten Ripple Model ontwikkeld.

E: Is dat het model met een blauwe cirkel in het midden en dan verschillende effecten naar buiten toe?

B: Ja, dat zal het zijn.

E: Ik zie hier de titel *Policy and Society-related Implications of Automated Driving* en u staat vermeld als auteur.

B: Dat klopt. Persoonlijk geef ik nog steeds de voorkeur aan een vakken-en-pijlenmodel, omdat dat meer ruimte biedt voor terugkoppelingen en interacties, terwijl het Ripple Model suggereert dat alles zich van binnen naar buiten verspreidt. Maar beide benaderingen kunnen je helpen om de effecten van autonome voertuigen overzichtelijk weer te geven.

E: Oké, dan ga ik daar zeker ook naar kijken. Nogmaals heel erg bedankt voor uw tijd en al uw inzichten.

B: Graag gedaan. Veel succes met je afstuderen en nog een fijne dag!

E: Dankjewel, u ook nog een fijne dag!

B: Dankje, dag.

E: Dag.